

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА АКУСТИКИ ТА АКУСТОЕЛЕКТРОНІКИ**

«На правах рукопису»
УДК 534.612

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ Дідковський В.С.
(підпис)

“ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

Зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка
на тему: Пристрій виявлення повітряних об'єктів

Виконав студент II курсу, групи ДГ-71мп
Козак Андрій Віталійович

(підпис)

Керівник проф. каф. А та АЕ д.т.н. Коржик О.В.

(підпис)

Консультант _____

(підпис)

Рецензент асист. каф. ЗТ та РІ к.т.н Філіпова Н.Ю.

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) _____ електроніки _____
(повна назва)

Кафедра _____ акустики та акустоелектроніки _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Напрямок підготовки _____ 171 Електроніка _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дідковський В. С.

(підпис)

«___» _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Козаку Андрію Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Пристрій виявлення повітряних об'єктів
керівник роботи Коржик Олексій Володимирович д.т.н., проф. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018р. №4114с.
2. Строк подання студентом дисертації 10.12.2019.
3. Об'єкт дослідження є процес спостереження та виявлення повітряних цілей.
4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) акустичний шумопеленгаційний комплекс.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: розробка пристрію виявлення пристрію, що застосовує градієнтні прийомники в низько частотному

діапазоні. Кількість прийомних каналів пристрою – не менше двох. Частотна селекція – на основі тритинооктавних, напівоктавних фільтрів, вузькосмугового та взаємного спектру.

6. Перелік графічного матеріалу презентація в Power Point.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1) Козак А. В., Ларін П. М. Імітаційне моделювання приладу вимірювання інтенсивності звуку та формування просторової вибіркості в повітряному середовищі / А. В. Козак, П. М. Ларін, Р. Ю. Костюк // X Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка–2017», 25–27 квітня, 2017 р., Київ, Україна / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», факультет електроніки. – Київ, 2017. – С. 46–51.

2) Костюк Р. Ю. Розробка мікрофонного тракту для систем повітряної шумопеленгації / Р. Ю. Костюк, А. В. Козак, П. М. Ларін // X Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка–2017», 25–27 квітня, 2017 р., Київ, Україна / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», факультет електроніки. – Київ, 2017. – С. 27–30.

3) Імітаційне моделювання вимірювача інтенсивності звуку в задачах шумопеленгування / А. В. Козак, П. М. Ларін, Р. Ю. Костюк, О. В. Коржик. // Електронна та акустична інженерія. – 2018. – №1. – С. 27 – 33.

4) Козак А. В. Пристрій виявлення безпілотних літальних апаратів у програмному середовищі LabView / А. В. Козак, П. М. Ларін, Р. Ю. Костюк // XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка–2018», 3–5 квітня, 2018 р., Київ, Україна / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», факультет електроніки. – Київ, 2018. – С. 78–81.

5) Ларін П. М. Пристрій пеленгування безпілотних літальних апаратів у програмному середовищі LabView / П. М. Ларін, А. В. Козак, Р. Ю. Костюк // XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка–2018», 3–5 квітня, 2018 р., Київ, Україна / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», факультет електроніки. – Київ, 2018. – С. 74–78.

6) Патент Мультиканальна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгації / О. В. Коржик, С. О. Козерук, Р. Ю. Костюк, А. В. Козак П. М. Ларін

7) Пристрій виявлення та пеленгування повітряних об'єктів / Дідковський В.С., Коржик О.В., Горовий К.В., Козак А.В., Ларін П.М., Ляхевич С.В. // XI науково-практичній конференції "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил", 8–9 листопада, 2018 р., Київ, Україна.

8. Дата видачі завдання: 01.09.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та вивчення джерел інформації для написання дипломної роботи; складання бібліографії наукових джерел	01-30.09.2018	
2	Складання плану дипломної роботи	1.10-06.10.2018	
3	Підготовка та написання першого розділу	07-20.10.2018	
4	Підготовка та написання другого розділу	21.10-03.11.2018	
5	Підготовка та написання третього розділу	04-10.11.2018	
6	Підготовка та написання четвертого розділу	10-15.11.2018	
7	Написання анотації, вступу та висновків	15-17.11.2018	
8	Виправлення зауважень	19-22.11.2018	
9	Оформлення дипломної роботи	23-29.11.2018	
10	Здача оформленої роботи на кафедру	30.11.2018	
11	Захист дипломної роботи	17.12.2018	

Студент

(підпис)

А.В. Козак
(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

О.В. Коржик
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Дисертація містить основну частину на 88 аркушах, 56 ілюстрацій.

Метою наукового дослідження є створення тракту виявлення повітряних об'єктів за допомогою пакету програм Lab View.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання інтенсивності звуку та спектру за допомогою прийомників тиску і коливальної швидкості.

Предметом дослідження є алгоритм визначення значення інтенсивності та спектру за допомогою середовища та інструментальних можливостей пакету LabView.

Результатом роботи є:

- дослідження принципу дії трактів виявлення;
- дослідження умови вимірювання інтенсивності та спектру у повітрі шляхом використання градієнтних прийомників;
- розроблення алгоритму виявлення в середовищі програмного продукту LabView.

Галузь застосування: акустичні вимірювання

Ключові слова: *виявлення, інтенсивність, спектр, повітряний шумопеленгатор, прийомник градієнту тиску, фаза, амплітуда, спектральні характеристики.*

ANNOTATION

Dissertation contains the main part on 88 pages, 56 illustrations.

The purpose of the research is to create a path for detecting airborne objects using the Lab View program package.

The object of the research is the process of measuring the intensity of sound and spectrum by means of receivers of pressure and shake speed.

The subject of the study is the algorithm for determining the value of intensity and spectrum with the help of the medium and the instrumental capabilities of the LabView package.

The result of the work is:

- research on the principle of the operation of detection paths;
- research the conditions for measuring the intensity and spectrum in the air through the use of gradient receivers;
- develop detection algorithm in the environment of the software LabView.

Field of application: acoustic measurements

Key words: *detection, intensity, spectrum, aerial sound locator, gradient receivers of pressure, phase, amplitude, spectral characteristics.*

АННОТАЦИЯ

Диссертация содержит основную часть на 88 листах, 56 иллюстраций.

Целью научного исследования является создание тракта обнаружения воздушных объектов с помощью пакета программ Lab View.

Объектом исследования является процесс измерения интенсивности звука и спектра с помощью приемников давления и колебательной скорости.

Предметом исследования является алгоритм определения значения интенсивности и спектра с помощью среды и инструментальных возможностей пакета LabView.

Результатом работы являются:

- исследование принципа действия трактов обнаружения;
- исследование условия измерения интенсивности и спектра в воздухе путем использования градиентными приемников;
- разработка алгоритма обнаружения в среде программного продукта LabView.

Область применения: акустические измерения

Ключевые слова: *выявление, интенсивность, спектр, воздушный шумопеленгаторы, приемник градиента давления, фаза, амплитуда, спектральные характеристики.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
-------------------	-----------

РОЗДІЛ 1. ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ, МАТЕМАТИЧНІ ЗАСАДИ МЕТОДОЛОГІЇ ВИЯВЛЕННЯ

Вступ.....	15
1.1 Актуальність атестаційної роботи.....	16
1.2 Формулювання мети і постановка основних задач роботи	16
1.3 Огляд сучасного стану задач виявлення БПЛА	17
1.4 Математичні засади методології виявлення	23
Висновки по розділу	41

РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ ВИЯВЛЕННЯ

Вступ.....	44
2.1 Структурна схема пристрою виявлення	46
2.2 Функціональна схема пристрою виявлення в програмному середовищі LabVIEW	47
2.3 Загальний устрій пристрою виявлення.....	49
2.4 Опис основних блоків, які використовуються.....	64
2.5 Панель користувача (Front Panel).....	68
Висновки по розділу	69

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вступ.....	69
3.1. Підготовка апаратури та схеми експерименту.....	69
3.2 Збирання вимірювального стенду (лабораторні умови)	70
3.3 Проведення вимірювань у лабораторних умовах	71

3.4 Підготовка матеріальної бази для вимірювання на відкритих просторах, збирання стенду, проведення вимірювань в натурних умовах	74
Висновки по розділу	77
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ	78
ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	86
ДОДАТКИ.....	90

ВСТУП

В цей час проблема повітряного шумопеленгування ширококосмугових шумовипромінюючих об'єктів викликає підвищену цікавість у зв'язку з розвитком парку безпілотних літальних апаратів. Крім того, відомості про акустичні характеристики БПЛА достатньо незначні. Якщо відомості щодо конструкції БПЛА є достатньо поширеними [1], то дані щодо шумових характеристик БПЛА практично відсутні. Зауважимо, що відомості про спектральні характеристики шумовипромінення достатньо об'ємно викладені в роботі [2].

Таким чином, базуючись на залучених з роботи [2] спектральних характеристик БПЛА, одним з перспективних напрямків виявлення БПЛА є визначення взаємного спектру та вимірювання інтенсивності звукового поля в робочому середовищі, при появі вказаної об'єкту. Ідеологія побудови інтенсиметрів (приладів для вимірювання інтенсивності) не нова, вона достатньо широко представлена в джерелах [3 4 5].

В зв'язку з цим, задача створення віртуальних інструментів для вимірювання основних характеристик акустичного поля та виявлення автономних рухомих об'єктів є актуальною і має розглядатися як крок до уніфікації та наочності шляхів апаратно-програмної реалізації засобів підводного та повітряного шумопеленгування. Це, власне, і визначає мету роботи.

Для вимірювання сигналів зараз використовується складна і досить габаритна апаратура, досить складно її ремонтувати або навчитись правильно користуватись. Якщо потрібно буде знімати данні та зберігати їх або зберігати інформацію у центрах її накопичення це зробити дуже складно. На прикладі використання програмного пакету LabView ми можемо відмовитись від складних аналогових приладів та залишити лише декілька блоків

включаючи комп'ютер (блок перетворення та блок обробки сигналу в цифрову інформацію з передачею її до входу комп'ютера).

LabVIEW (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) — платформа та середовище розробки для візуальної мови програмування компанії National Instruments (США). Метою даної мови є автоматизація використання обчислювального та вимірювального лабораторного обладнання.

Графічні пакети легко освоюються не тільки програмістами - професіоналами, але і користувачами, що не мають досвіду програмування. На відміну від текстових мов, таких як C, Pascal та інші, де програми складаються у вигляді рядків тексту, в LabVIEW програми створюються у вигляді графічних діаграм, подібних звичайним блок-схемами. Іноді можна створити додаток, взагалі не торкаючись клавіатури комп'ютера [6].

Переваги LabVIEW

- Повноцінна мова програмування
- Інтуїтивно зрозумілий процес графічного програмування
- Широкі можливості збору, обробки та аналізу даних, управління приладами, генерації звітів і обміну даних через мережеві інтерфейси
- Драйверне підтримка більше 2000 приладів
- Можливості інтерактивної генерації коду
- Шаблони додатків, тисячі прикладів
- Висока швидкість виконання скомпільованих програм
- Сумісність з операційними системами Windows2000/NT/XP, Mac OS X, Linux і Solaris.

LabVIEW підтримує величезний спектр обладнання різних виробників і має у своєму складі (або дозволяє додавати до базового пакету) численні бібліотеки компонентів:

- для підключення зовнішнього обладнання за найбільш поширеним інтерфейсів і протоколів (RS-232, GPIB 488, TCP / IP та ін);
- для віддаленого управління ходом експерименту;
- для керування роботами і системами машинного зору;
- для генерації та цифрової обробки сигналів;
- для застосування різноманітних математичних методів обробки даних;
- для візуалізації даних і результатів їх обробки (включаючи 3D-моделі);
- для моделювання складних систем;
- для зберігання інформації в базах даних і генерації звітів;
- для взаємодії з іншими додатками в рамках концепції COM / DCOM / OLE і пр.

В даний час LabVIEW широко застосовується в наступних сферах:

- Автомобільна промисловість
- Телекомунікації
- Аерокосмічна промисловість
- Напівпровідникова промисловість
- Розробка і виробництво електроніки
- Управління технологічними процесами
- Біомедицина

Ступінь вивченості теми.

На жаль на даний момент не існує сучасних аналогів програми. Як правило використовуються лише окремі прилади, які коштують дуже дорого, та суміщують в собі досить багато різних (не потрібних для рішення нашої задачі) функцій. Дане програмне забезпечення досить нове, та дозволяє більш точно вимірювати параметри сигналів та визначати спектри.

Ціль розробки

Ціллю розробки є:

- визначення можливості застосування акустичних методів огляду робочого простору та виявлення повітряних літальних апаратів;
- впровадження нетрадиційних програмних середовищ в практику розробки і моделювання акустичних каналів пристроїв виявлення;
- формування схеми вимірювання за допомогою сучасних програмних та моделюючих засобів;
- створення макету пристрою, що реалізує акустичні методи виявлення безпілотних літальних апаратів за основними характеристиками акустичного поля;
- визначення можливості мінімізації апаратної частини засобів повітряного шумопеленгування.

Актуальність роботи

Задача вимірювання інтенсивності звуку та визначення спектрів обумовлена необхідністю первинного виявлення та спостереження засобами шумопеленгаційних систем повітряних широкосмугових випромінюючих об'єктів різного призначення, а також збільшення якості первинного виявлення. Впровадження в тактику боротьби з БПЛА нетрадиційних методів виявлення, що пов'язана з використанням особливостей фізичних полів різних типів.

В запропонованому програмному продукті використані можливості пакету National Instruments які дозволяють більш наочно формувати, аналізувати та спостерігати вимірювальні ситуації щодо інтенсивностей, тисків, коливальних швидкостей та спектрів. В цьому актуальність роботи не викликає сумнівів.

РОЗДІЛ 1

ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ, МАТЕМАТИЧНІ ЗАСАДИ МЕТОДОЛОГІЇ ВИЯВЛЕННЯ

Вступ

В цей час проблема повітряного шумопеленгування широкосмугових шумовипромінюючих об'єктів викликає підвищену цікавість у зв'язку з розвитком парку безпілотних літальних апаратів. Крім того, відомості про акустичні характеристики БПЛА достатньо незначні. Якщо відомості щодо конструкції БПЛА є достатньо поширеними [1], то дані щодо шумових характеристик БПЛА практично відсутні. Зауважимо, що відомості про спектральні характеристики шумовипромінення достатньо об'ємно викладені в роботі [2].

Таким чином, базуючись на залучених з роботи [2] спектральних характеристик БПЛА, одним з перспективних напрямків виявлення БПЛА є визначення взаємного спектру та вимірювання інтенсивності звукового поля в робочому середовищі, при появі вказаної об'єкту. Ідеологія побудови інтенсиметрів (приладів для вимірювання інтенсивності) не нова, вона достатньо широко представлена в джерелах [3 4 5].

В зв'язку з цим, задача створення віртуальних інструментів для вимірювання основних характеристик акустичного поля та виявлення автономних рухомих об'єктів є актуальною і має розглядатися як крок до уніфікації та наочності шляхів апаратно-програмної реалізації засобів підводного та повітряного шумопеленгування. Це, власне, і визначає мету роботи.

Для вимірювання сигналів зараз використовується складна і досить габаритна апаратура, досить складно її ремонтувати або навчитись правильно користуватись. Якщо потрібно буде знімати данні та зберігати їх або зберігати інформацію у центрах її накопичення це зробити дуже складно. На прикладі використання програмного пакету LabView ми можемо відмовитись від складних аналогових приладів та залишити лише декілька блоків включаючи комп'ютер (блок перетворення та блок обробки сигналу в цифрову інформацію з передачею її до входу комп'ютера).

1.1 Актуальність атестаційної роботи

Актуальність обумовлена необхідністю первинного виявлення та спостереження засобами шумопеленгаційних систем повітряних широкосмугових випромінюючих об'єктів різного призначення.

1.2 Формулювання мети і постановка основних задач роботи

Метою наукового дослідження є створення тракту виявлення повітряних об'єктів за допомогою пакету програм Lab View.

Для досягнення даної мети в дипломній роботі слід вирішити наступні завдання:

1. Дослідити основні системи та методології виявлення.
2. Розглянути можливі способи реалізації приладу виявлення.
3. Дослідити умови виявлення у повітрі та розробити тракт виявлення в програмі LabView.
4. Перевірити роботу розробленого тракту в лабораторних і натурних умовах.

1.3 Огляд сучасного стану задач виявлення БПЛА

На сучасному ринку представлена велика кількість систем виявлення [7–10], спостереження та знешкодження БПЛА. Найефективнішими типами систем є мультисенсорні системи, тобто такі, що використовують методи акустичної, оптичної та радіолокаційної детекції і водночас аналізують отримані дані різних типів. Акустичні сигнатури конкретних типів дронів вже занесено у бази даних компаній-виробників систем виявлення і використовується при роботі у реальному часі. Слід додати, що при високому рівні зашумленості, а саме у містах, системи акустичного детектування не можуть бути ефективними і у переважній більшості рекомендовано їх застосовувати на заміських територіях.

Розглянемо деякі типові приклади систем виявлення БПЛА, які мають у своєму складі акустичні пристрої детекції.

Польська компанія Advanced Protection Systems розробила SafeSky, що є системою виявлення та стеження, яка дозволяє ефективно виявляти дронів вдень і вночі в будь-яких погодних умовах. Поєднання власних радарів, акустичних і оптичних датчиків дозволяє звести до мінімуму хибну тривогу виявлення малих безпілотних літальних апаратів до 1000 м. Радарний датчик працює як FMCW в X-діапазоні частот і заснований на власних мікросхемах, які були розроблені спеціально для цієї мети. Крім того, реалізована складна обробка радіолокаційних сигналів, що зводить до мінімуму помилкові тривоги та вводить здатність розрізняти птахів і БПЛА. Крім того, застосовано акустичний датчик, заснований на мікрофонній решітці, що реалізує формування променя в акустичній області локалізації джерел звуку в просторі. Розроблено та впроваджено алгоритми класифікації на основі машинного навчання ідентифікації дронів. Система SafeSky поставляється з дружнім у використанні веб-інтерфейсом програмного забезпечення, який об'єднує виходи від датчиків, а також повідомляє співробітників служби

безпеки про інцидент виявлення БПЛА через SMS, електронну пошту та системи оповіщення. Тобто, система з точки зору акустичних характеристик має у складі:

- масив мікрофонів для максимально можливого діапазону;
- алгоритми просторового формування променя і отримання сигналу для точної класифікації та локалізації БПЛА;
- точне виявлення і відстеження в акустичній області декількох безпілотних літальних апаратів.



Рис. 1. DD610AR Drone Detector

Компанія Drone Labs постачає на ринок систему Drone Detector, яка має у своєму складі засоби акустичної, радіочастотної, оптичної, температурної детекції, GPS-детекції, виявлення нерухомих та літаючих дронів, автономних дронів. Можливе забезпечення автономного підключення системи до онлайн мережі, оновлення баз даних та створення резервних копій інформації, надання систем автономного живлення. При цьому забезпечується дальність виявлення до 1000 метрів засобами радіочастотної локації. Існують рухомі та стаціонарні системи Drone Detector. Зокрема DD610AR Drone Detector (рис. 1) представляє собою пристрій високої чутливості, призначений для виявлення рекреаційних і комерційних безпілотних літальних апаратів до одного кілометра. Передача даних відбувається за допомогою протоколів Wireless LAN (B/G/N), Ethernet, 3G Cell Connection та супутникового зв'язку.

Французька фірма ORELIA пропонує систему захисту від цивільних дронів Drone Detector, яка заснована лише на акустичному виявленні та являє собою простий і компактний пристрій (рис. 2) розмірами $220 \times 140 \times 71$ мм.



Рис. 2. Drone Detector від фірми ORELIA

Система має наступні характеристики:

- забезпечення водонепроникності;
- діапазон живлення: 7 – 18 В;
- споживана потужність: 5 Вт;
- температура використання: від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$ (поч. точка при 0°C);
- поставляється з конвертером 220V AC/18V DC;
- вага: 1,5 кг;
- матеріал: алюміній.

Розгортання декількох датчиків дозволяє сформувати чутливий бар'єр і, таким чином, отримати певне місце розташування детектованого БПЛА на основі обраної геометрії бар'єру.

Австралійська компанія DroneShield постачає декілька акустичних систем виявлення. Одна з них – DroneShield FarAlert Sensor (рис. 3). Система використовує вузький 30-градусний промінь довжиною до одного кілометра,

що забезпечує виявлення БПЛА до 500 ярдів над землею при максимальній довжині. Пристрій включає в себе двофутову «тарілку», яка призначена для монтажу на стандартній антенній щоглі базових станцій.



Рис. 3. DroneShield FarAlert Sensor

Прототипом приладу «АП-1» обрано прилад DroneShield FarAlert Sensor.

Недоліками згаданих приладів є неточність виявлення та пеленгування, що спричинена рівнем шумових завад навколишнього простору.

Вирішення даної задачі полягає у одночасному використанні спрямованих властивостей системи приймачів та застосуванні спектральних методів обробки, які дозволяють по часовому зсуву взаємної кореляційної функції визначити пеленг на об'єкт. Конфігурація антенного приладу дозволяє реалізувати декілька методів виявлення та пеленгації, а саме: виявлення за компонентою інтенсивності звуку, виявлення за просторовим спектром (звичайна ХС), виявлення за акустичною сигнатурою (спектром прийнятого сигналу), пеленгація методом взаємних спектрів та пеленгація фазовим методом. При цьому неоднозначність пеленгування, що властива фазовому методу за певних хвильових співвідношень між сигналом цілі та розмірами баз акустичної антени, усувається шляхом визначення квадранту

спостереження за знаками вихідних напруг косинусно-синусного комбінованого приймача.

Таблиця 1. Характеристики аналогів

Прилад	Дальність виявлення, м	Кут пеленгу, °	Кут азимуту, °	Робочий діапазон температур, °C
DroneShield FarAlert Sensor	460	0-360	0-180	-15...+ 40
Drone Detector	250	0-360	0-180	-10...+ 50
SafeSky	1000	0-360	0-180	-30...+ 50
DD610AR	1000	0-360	0-180	-10...+ 50

Також були розглянуті російські патенти а саме:

1. Акустический пеленгатор
2. Способ определения пеленга источника звука.

У першому патенті розглядається винахід який відноситься до звукометричних станцій (звукометричний комплексам) і може бути використано для визначення видалення джерела звуку, джерела акустичного сигналу від пеленгатора і топографічних координат цього джерела звуку (ДЗ).

Акустичний пеленгатор включає дві лінійні групи звукоприймачів, з'єднаних з відповідними входами ланцюжків з трьох паралельно включених каналів обробки сигналів, кожна ланцюжок включає в себе послідовно включені між собою резонансні підсилювачі, по двадцять в кожному каналі обробки сигналів, суматори напруг, амплітудні детектори, аналого цифрові

перетворювачі та реєстри, виходи яких з'єднані з ЕВМ. Крім того, в нього додатково введена ланцюг з послідовно з'єднаних між собою резонансних підсилювачів і пристрою формування імпульсів, також з'єднаних з відповідними засобами пеленгатора. Використання заявленого пеленгатора дозволяє визначити пеленг ДЗ з великою точністю і за менший час, ніж в прототипі, і здійснювати його локацію, що і є досягається технічним результатом.

У другому патенті розглядається спосіб визначення дальності до джерела звуку. Досягнутий технічний результат - зменшення систематичних і випадкових помилок вимірювання дальності, розширення кола вирішуваних пеленгаторами завдань і підвищення їх пропускнуої спроможності. У способі виконують прийом акустичних сигналів двома лінійними групами звукоприємників (ЛГЗ). У першому і другому каналах обробки (КО) обробляють електричні сигнали з частотою f прийняті першої і другої ЛГЗ, а в каналі частоти f^1 - сигнали з частотою f^1 , прийняті першої ЛГЗ. Пеленг на ДЗ визначають з використанням відношення амплітуд напруги на виходах першого і другого КО.

Обчислюють амплітуду напруги сигналу на виході першого КО в припущенні, що ДЗ знаходиться на робочій осі нормованої характеристики спрямованості першої ЛГЗ. Амплітуду звукового тиску на вході першої ЛГЗ на частоті f визначають шляхом ділення обчисленої величини на коефіцієнт пропорційності, який визначається експериментально на частоті f . Обчислюють рівень звукового тиску на вході першої ЛГЗ. Аналогічні обчислення проводять для сигналу частоти f . Визначають тип підстильної поверхні, зниження рівня звукового тиску, що викликається впливом перешкод, метеорологічними і атмосферними факторами. Дальність і топографічні координати розраховують з урахуванням впливу зазначених факторів.

1.4 Математичні засади методолгії виявлення

Одним з перспективних напрямків виявлення БПЛА є визначення взаємного спектру та вимірювання інтенсивності звукового поля в робочому середовищі, при появі вказаної цілі, а також визначення кута нахилу результуючого вектору, різниці фаз прийнятого сигналу чотирьох мікрофонів відносно центрального.

В дослідницькому плані, задача повітряного пеленгування може бути розв'язано шляхом створення віртуальних інструментів для виявлення рухомого повітряного об'єкту за основними характеристиками акустичного поля та визначення напрямку на нього.

Алгоритм виявлення реалізовано з використанням лінійної дискретної акустичної антени яка забезпечує р і рv прийом акустичних сигналів, пристрою спряження (система АЦП) та програм обробки інформації на основі пакету LabView на персональному комп'ютері (ПК).

Ідеологія застосування об'єктного програмування базується на використанні трьох типів систем виявлення:

- вузькосмугового спектру (FFT) або спектру в широкій смузі;
- інтенсивності;
- взаємного спектру.

$$X_1(f) = \int_0^T x_1(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt; \quad X_2(f) = \int_0^T x_2(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt; \quad (1)$$

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) v(t) dt; \quad (2)$$

$$G_{xy}(t) = 2 \cdot X_1^*(t) \cdot X_2(t) = C_{xy}(t) + iQ_{xy}(t). \quad (3)$$

Використання таких дублюючих принципів виявлення базуються на реєстрації проявлення особливостей акустичного поля та впливають на ефективність роботи пристрою

Основи обробки прийнятих акустичних сигналів

Акустичні сигнали, що були сформовані як детерміновані зондуючі акустичні хвилі, після проходження в АК змінюються. Характеристики прийнятих сигналів – амплітуда, частота, фаза, час затримки, форма огинаючої, суттєво відрізняються від характеристик зондуючого сигналу. Розповсюджуючись хвилі деформуються, параметри хвиль стають випадковими величинами флуктуючими в часі і просторі. Для обробки прийнятих сигналів найбільш поширені часовий, частотний та кореляційний методи. Часова обробка зводиться до встановлення проміжку часу в якому може з'явитись сигнал, та аналізу його амплітуди та форми огинаючої. Частотна обробка зводиться до отримання частотного спектру сигналу та аналізу його особливостей з застосуванням статистичної обробки для сигналів отриманих в різні моменти часу. Кореляційна обробка встановлює зв'язок між зондуючим та ехо сигналами в активній локації або прийнятими сигналами в задачах пасивної локації.

Найбільш розповсюдженим інструментом для спектрального аналізу як неперіодичних так і періодичних сигналів [11] є пара перетворень Фур'є:

$$\begin{aligned} \dot{X}(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt; \\ x(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{X}(\omega) e^{j\omega t} d\omega; \end{aligned} \quad (4)$$

Комплексний спектр представимо у вигляді: $\dot{X}(\omega) = |\dot{X}(\omega)| e^{-j\varphi(\omega)}$

Модуль комплексної спектральної функції $|\dot{X}(\omega)|$ називається амплітудним спектром, а її аргумент $\varphi(\omega)$ - фазовим спектром. Пряме

перетворення Фур'є ставить у відповідність сигналу, заданому в часі, його спектральну функцію. Перетворення Фур'є є взаємно однозначним, тому інформація з часової області трансформується у частотну без втрат. Вище, при дослідженні методів модуляції, сигнали представлялись у вигляді рядів Фур'є. Коефіцієнти такого ряду є не чим іншим як амплітудно частотним спектром періодичного коливання.

Порівнюючи спектральні компоненти зонduючого та прийнятого сигналів можна отримати інформацію про поглинаючі характеристики АК, оцінити геометрію та форму об'єкту локації, визначити швидкість його руху. В задачах пасивної локації (діагностиці механізмів, виявленні та пеленгуванні об'єктів) використовують вузько смуговий частотний аналіз разом із статистичною обробкою.

Кореляційний метод обробки направлений на визначення зв'язку між випроміненими та прийнятими сигналами в задачах активної та пасивної локації. Математичною мірою зв'язку процесів є кореляційна функція (КФ), що характеризує зв'язок між сигналами розділеними інтервалом часу. Кореляційний аналіз сигналів зводиться до визначення залежності КФ від часу затримки τ одного із сигналів. Чим більше значення приймає функція тим більша подібність сигналів. Математичні співвідношення, що визначають КФ приведені нижче:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot x(t - \tau) dt . \quad (5)$$

Для порівняння двох сигналів $x_1(t)$ та $x_2(t)$ використовують взаємну кореляційну функцію (ВКФ) :

$$R_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x_1(t) \cdot x_2(t - \tau) dt \quad (6)$$

ВКФ дозволяє знайти взаємний спектр сигналів - взаємна спектральна густина потужності сигналів $x_1(t)$ та $x_2(t)$), $\dot{X}_{12}(\omega)$ використавши перетворення Фур'є:

$$\dot{X}_{12}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{12}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau; \quad (7)$$

Взаємний спектр (ВС) двох сигналів є результатом перемноження спектру одного сигналу $\dot{X}_1(\omega)$ (4) на комплексно спряжену величину спектру $\dot{X}_2^*(\omega)$ іншого:

$$\dot{X}_{12}(\omega) = \dot{X}_1(\omega) \dot{X}_2^*(\omega) \quad (8)$$

З цього співвідношення можна зробити важливий висновок: якщо спектри двох сигналів не перекриваються то їх взаємний спектр дорівнює нулю, а значить нулю дорівнює і ВКФ. Тобто сигнали, спектри яких не перекриваються, є некорельованими. Якщо знайти ВС одного і того ж сигналу то з (8) отримаємо енергетичний спектр сигналу $x_1(t)$:

$$\dot{X}_1(\omega) \dot{X}_1^*(\omega) = |X_1(\omega)|^2 \quad (9)$$

ВКФ двох сигналів може бути знайдена через обернене перетворення Фур'є від функції їх взаємного спектру:

$$R_{12}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{X}_{12}(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad (10)$$

Поклавши $x_1(t) = x_2(t) = x(t)$, $\tau = 0$, використавши співвідношення (6), (9) та (10), отримаємо рівність Парсеваля:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{X}(\omega)|^2 d\omega \quad (11)$$

Ефективне значення спектру сигналу Δf_{ef} оцінюють із співвідношення повної енергії сигналу до квадрата максимального значення його амплітудного спектру $|\dot{X}_m(\omega)|^2$:

$$\Delta f_{\text{ef}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |\dot{X}(\omega)|^2 d\omega}{2\pi |\dot{X}_m(\omega)|^2} \quad (12)$$

Ефективне значення тривалості імпульсу δ_{ef} оцінюють як тривалість імпульсу прямокутної форми з амплітудою $X_m = 1$ через часову огинаючу імпульсу або спектр амплітуд, тобто:

$$\delta_{\text{ef}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt}{X_m^2} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |\dot{X}(\omega)|^2 d\omega \quad (13)$$

Для числової характеристики часового інтервалу подібності процесів використовують інтервал кореляції τ_0 , який визначається по спаду кореляційної функції на 10% від свого максимуму.

Використання взаємних спектрів

Оскільки ВКФ дають можливість визначити канали розповсюдження акустичних хвиль(найпростіше - виміряти відстань) то слід очікувати, що

взаємний спектр сигналів $x_1(t)$ та $x_2(t)$ теж дає таку можливість.

Використаємо Ф- перетворення до ВКФ багатовипускового АК:

$$\dot{X}_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau = \sum_{i=1}^M H_i \dot{X}_{xx}(f) e^{-j2\pi f\tau_i} \quad (14)$$

$$\text{або} - \dot{X}_{xy}(f) = |\dot{X}_{xy}(f)| e^{-j\theta_{xy}(f)}$$

Для сигналу, що пройшов по одному ланцюгу АК компоненти амплітудного і фазового спектрів мають вигляд:

$$|\dot{X}_{xy}(f)| = \dot{X}_{xx}(f) H_1; \theta_{xy}(f) = 2\pi f\tau_1 \quad (15)$$

Тобто ВС дорівнює спектру випроміненого сигналу помноженого на АЧХ АК, а фаза залежить від часу τ_1 . Якщо хвиля пройшла по двом напрямкам то ВС та фаза будуть визначатися:

$$|\dot{X}_{xy}(f)| = \dot{X}_{xx}(f) [H_1^2 + H_2^2 + 2H_1H_2 \cos 2\pi f(\tau_2 - \tau_1)]^{1/2} \quad (16)$$

У випадку двох каналів модуль ВС буде мати провали, які розташовані на відстані:

$$\Delta F = \frac{1}{(\tau_2 - \tau_1)} \quad (17)$$

Провали в спектрі можуть виникати і по іншим причинам. Тому метод застосування ВКФ більш надійний.

Виявлення за інтенсивністю

Інтенсивність звуку – це фізична величина, яка характеризує швидкість потоку звукової енергії в певній точці звукового поля. Рівень інтенсивності

звука L_1 дБ визначають відносно порогового значення $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² за формулою

$$L_1 = 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (18)$$

Зазначимо, що $I_0 = \frac{p_0^2}{\rho c}$, де ρc - хвильовий опір, який для повітря дорівнює 416 кг/м²·с.

При розрахунках рівня звукового тиску L потрібно керуватися такими правилами:

- якщо різниця двох джерел більша за 10 дБ, то найменше джерело можна не враховувати;
- різниця джерел з однаковими рівнями дорівнює 0;
- зміна рівня звукового тиску на 5 дБ відповідає зміні рівня інтенсивності звука в 3 рази;
- зміна рівня звукового тиску на 10 дБ відповідає зміні гучності майже в 2 рази, 15 дБ - в 3 рази і т.д.

Сумарний рівень декількох джерел з однаковими рівнями звукового тиску дорівнює

$$L_{\Sigma} = L + 10 \lg n, \quad (19)$$

де L - рівень звукового тиску одною джерела; n - кількість джерел.

Якщо джерела мають різні рівні звукового тиску, $L_i, i = 1, 2, \dots, n$, то

$$L_{\Sigma} = 10 \lg (10^{0.1L_1} + 10^{0.1L_2} + \dots + 10^{0.1L_n}). \quad (20)$$

Треба відзначити, що звуковий тиск та інтенсивність звуку є точковими характеристиками звукового поля. Вони залежать від розташування точки вимірювання та умов поширення звукових хвиль.

Звукова потужність не залежить від зазначених факторів, тому є унікальною мірою шумності даного джерела шуму [5].

Вимірювання інтенсивності звуку

Процес поширення звукової хвилі характеризують два параметри:

- 1) тиск як місцева зміна тиску відносно статичного тиску і середовища;
- 2) коливальна швидкість частинок, що здійснюють коливальний рух відносно якогось опорного положення.

Миттєва інтенсивність звуку у заданому напрямку r обчислюється як добуток миттєвого звукового тиску на миттєву швидкість у цьому напрямку:

$$I_r(t) = p(t)v_r(t) \quad (21)$$

Співвідношення (18) відповідає наведеному вище визначенню інтенсивності як віднесеної до одиниці площі звукової потужності. Середня за часом інтенсивність звуку обчислюється так:

$$I_r = \frac{1}{T} \int_0^T p(t)v_r(t) dt \quad (22)$$

У вільному дальньому звуковому полі звуковий тиск і коливальна швидкість у напрямку поширення хвилі пропорційні, і вираз для інтенсивності звуку спрощується:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \quad (23)$$

Очевидно, що рівень інтенсивності в таких умовах дорівнює рівню звукового тиску в даній точці (див. формулу (18)) і його можна виміряти за допомогою шумоміра. Для оцінки інтенсивності звуку у ближньому звуковому полі треба використовувати загальне співвідношення (22).

Як зазначалося вище, для вимірювання звукового тиску використовується типовий ВТ з одним мікрофоном тиску. Вимірювання ж коливальної швидкості частинок досить складне. Коливальна швидкість пов'язана з градієнтом звукового тиску (тобто темпом зміни звукового тиску з відстанню) рівнянням Ейлера:

$$v_r(t) = -\frac{1}{\rho} \int \frac{\partial p(t)}{\partial r} dt \quad (24)$$

(тут обчислюється невизначений інтеграл). За наявності двох ідентичних ненапрямлених мікрофонів, які розміщені на малій відстані один від одного, градієнт звукового тиску можна знайти на підставі наближеної формули

$$\frac{\partial p(t)}{\partial r} = \frac{p_1(t) - p_2(t)}{\Delta r} = \frac{\Delta p(t)}{\Delta r} \quad (25)$$

де індексом 1 позначено найближчий до джерела мікрофон. У наслідок використання формули (8) дістають скінченнорізницеву апроксимацію функції, яка відповідає градієнту тиску. Співвідношення (24) і (25) дають змогу оцінити коливальну швидкість у точці, що збігається з акустичним центром системи двох мікрофонів і розташована посередині між ними:

$$v(t) = -\frac{1}{\Delta r \rho} \int [p_2(t) - p_1(t)] dt \quad (26)$$

Тиск у цій точці приблизно такий:

$$p(t) \approx \frac{p_1(t) + p_2(t)}{2} \quad (27)$$

Тоді з урахуванням формули (22) шукана інтенсивність звуку визначається як

$$I_r = \frac{1}{2\Delta r \rho T} \int [p_1(t) + p_2(t)] \{ [p_2(t) - p_1(t)] dt \} dt \quad (28)$$

Відповідний вираз для оцінки інтенсивності звука у частотній зоні має вигляд:

$$I_r = \int_{f_1}^{f_2} S_I(f) df = \frac{1}{2\pi\rho\Delta r} \int_{f_1}^{f_2} \frac{\text{Im}\{S_{12}(f)\}}{f} df \quad (29)$$

$S_I(f)$ — спектр інтенсивності звука; $S_{12}(f)$ — взаємний спектр щуккових тисків $p_1(t)$ і $p_2(t)$; $[f_1; f_2]$ — робочий діапазон частот вимірювань.

Обчислення за формулами (28) і (29) дають однакові результати. Метод вимірювання інтенсивності звука що ґрунтується на формулі (28) чи (29), в інженерній практиці називають методом двох мікрофонів.

Прилад для вимірювань інтенсивності звука за цим методом (інтенсиметр) складається з інтенсиметричного двомікрофонного зонда (3520, 3545 фірми «Брюль і К'єр», Данія) і обчислювального пристрою (ОП) (рис. 4, а). Мікрофони 1 і 2 можна розмістити лицьовими чи бічними поверхнями один до одного (рис. 4, б, в відповідно). На практиці найчастіше застосовують перший варіант. Характеристика направленості зонда має косинусний характер.

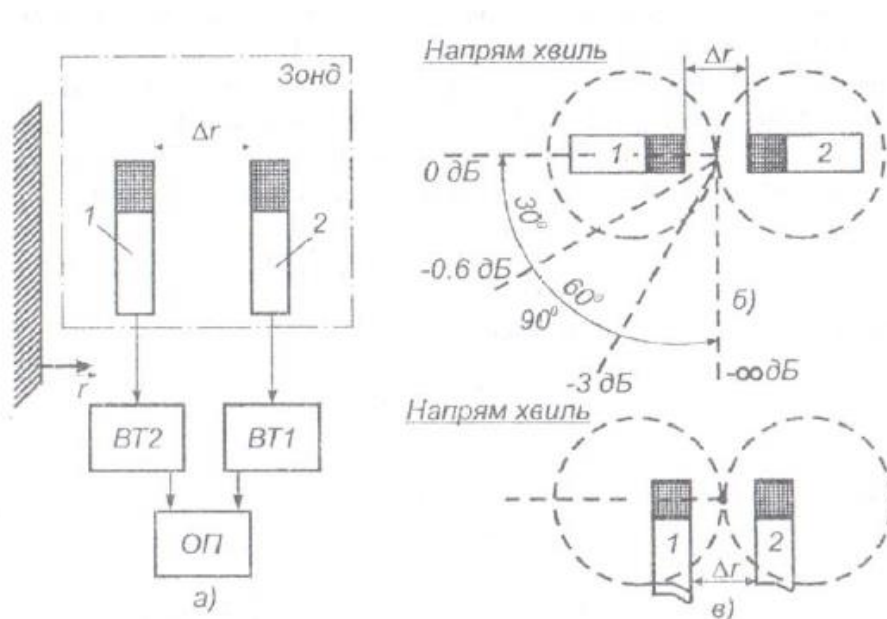


Рис. 4 Прилад для вимірювань інтенсивності методом двох мікрофонів

Обчислювальний пристрій обладнаний двома ідентичними вхідними вимірювальними трактами, які забезпечують попередню обробку сигналів з виходу мікрофонного зонда (погодження, підсилення, фільтрацію). За допомогою цього пристрою можна реалізувати закладені у формулі (28) чи (29) математичні операції. Обробка сигналів відповідно до формули (28) може здійснюватися за допомогою електронних інтеграторів і суматорів. Приклад такого ОП — прилад 4437 (фірма «Брюль і К'єр», Данія).

В основу ОП, побудованого на співвідношенні (29), покладено обчислення взаємного спектра сигналів за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), для чого використовується спеціалізований процесор ШПФ чи ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням (прилади 2032, 2034 фірма «Брюль і К'єр», Данія).

Головною перевагою другого методу реалізації ОП є можливість обчислення інтенсивності звуку у вузьких смугах частоти (обчислення спектра інтенсивності). Недоліки цього методу обмежений діапазон частот, в якому можна вимірювати інтенсивність звуку в реальному масштабі часу (до

одиниць кілогерц), а також відносно великий час вимірювання. Тому для експрес-оцінки інтенсивності звуку застосовують ОП першого типу.

Розглянутий метод двох мікрофонів має такі обмеження:

- кінцеве значення відстані Δr між акустичними центрами мікрофонів визначає верхню границю робочого діапазону частот, в якому вимірювання інтенсивності звуку дає допустимий результат (за точністю);
- непогодження фазових характеристик мікрофонних трактів і каналів ОП визначає нижню границю робочого діапазону частот.

Акустична інтенсиметрія застосовується при оцінці звукової потужності машин у ближньому полі, при класифікації джерел звуку, пошуку головних джерел шуму, дослідженні звукоізоляції [5].

Апаратура для вимірювань і аналізу інтенсивності звуку

Загалом, апаратура для вимірювань і аналізу інтенсивності звуку складається з інтенсиметричного зонда, аналізатора та інтенсиметричного калібратора. Фірма Брюль і К'єр знаходиться на передовій позиції в області акустичної інтенсиметрії і безперервно веде дослідження, розробляє нові і покращує впроваджені методи та відкриває нові сфери застосування відповідної техніки. Досягнення в області акустичної інтенсиметрії описуються в коротких брошурах, що систематично видаються фірмою Брюль і К'єр.

Фірма Брюль і К'єр виготовляє і поставляє широкий асортимент інтенсиметричної апаратури та прикладного програмного забезпечення, які сприятимуть створенню як універсальних, так і спеціальних інтенсиметричних систем [12].

Аналізатори

Аналізатори 2133, 2032/2034 і 4433 фірми Брюль і К'єр розраховані на застосування в області акустичної інтенсиметрії. Аналізатор 2133 працює в реальному масштабі часу і його цифрові фільтри сприяють паралельному аналізу в смугах шириною 1/1, 1/3 і 1/12 октави. Аналізатори 2032 і 2034 засновані на швидкому перетворенні Фур'є і дають можливість інтенсиметричних досліджень у вузьких частотних смугах. Портативний, що працює від батарей аналізатор 4433 є ідеальним приладом для інтенсиметричних досліджень і октавного аналізу в польових умовах.

Двухмікрофонні інтенсиметричні зонди

Акустичні зонди 3519, 3520 і 3545 фірми Брюль і К'єр дають можливість інтенсиметричних вимірювань в широких діапазонах і допускають спільне застосування блоків дистанційного керування інтенсиметричною апаратурою.

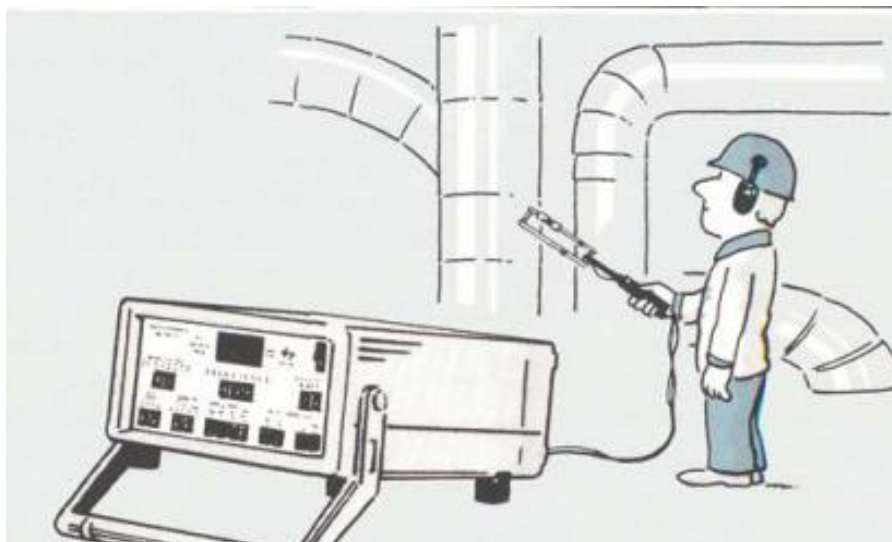


Рис. 5 Аналізатор інтенсивності звуку 4433 з зондом 3520

Інтенсиметричний калібратор

Інтенсиметричний калібратор 3541 фірми Брюль і К'єр створює в малій акустичній камері зв'язку звукове поле з точно визначеними опорними рівнями звукового тиску, коливальної швидкості частинок та інтенсивності звуку. Отже, є можливість калібрування, що містять мікрофонні комплекти каналів інтенсиметричної апаратури і перевірки, що визначають цією апаратурою значення інтенсивності звуку і швидкості коливань частинок. Прилад 3541 також сприяє визначенню залишкової інтенсивності інтенсиметричних систем і дає можливість визначення показника залишкової різниці тиск-інтенсивність, що відображає міру фазового неузгодженості каналів цих систем.

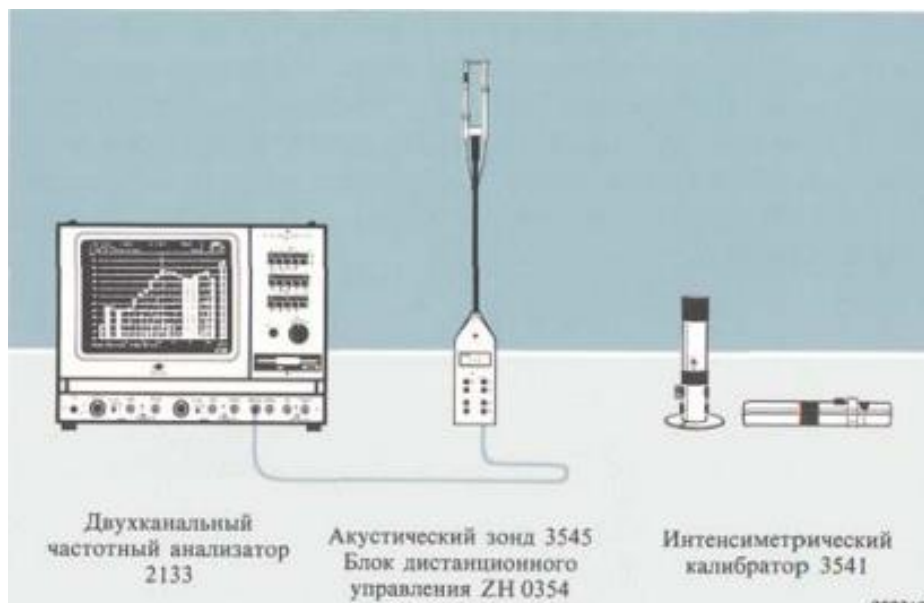


Рис.6 Двоканальний частотний аналізатор 2133, акустичний зонд 3545 з блоком дистанційного управління ZH 0354, інтенсиметричний калібратор 3541

Методи інтенсиметричних вимірювань

Оскільки в даний час немає загальноприйнятих стандартів і рекомендацій для інтенсиметричних вимірювань, нижче коротко розглядаються аспекти та чинники, які необхідно враховувати при вимірах і аналізі інтенсивності звуку.

Калібрування

Калібрування мікрофонів, що входять до складу інтенсиметричного зонда, здійснюється за допомогою пістонфона або інтенсиметричного калібратора, що віддає опорний сигнал з точно визначеними рівнем і частотою. Перевірка інтенсиметричної апаратури здійснюється шляхом порівняння показуемого її індикатором значення з опорним значенням рівня інтенсивності звуку, що створюється інтенсиметричним калібратором. Оскільки інтенсивність звуку також залежить від щільності повітря, що змінюється з температурою і статичним тиском, необхідно внести відповідну поправку. Відзначимо, що ця поправка зазвичай дуже мала (за винятком великих висот над рівнем моря). Інтенсиметричний калібратор також використовується з метою перевірки рівня узгодженості по фазі каналів інтенсиметричної апаратури. У відповідному процесі визначаються значення показника тиск-інтенсивність і динамічної здатності цієї апаратури.

Усереднення за часом

Для доведення до мінімуму випадкової похибки необхідно використовувати час усереднення, яке гарантуватиме стабільні і відтворювані результати. Потрібний час усереднення можна визначити шляхом повторних вимірів з почерговим збільшенням часу усереднення. Відповідні вимірювання потрібно повторювати до досягнення збіжності результатів.

Усереднення по простору

При інтенсиметричних вимірах з плавним переміщенням зонда, що використовується необхідно рівномірно перекрити враховану опорну поверхню. Швидкість переміщення інтенсиметричного зонда повинна бути незмінною. При інтенсиметричних вимірах в дискретних точках, число точок виміру на певній опорній поверхні залежить від змін вимірюваної інтенсивності звуку. У разі великих змін інтенсивності звуку необхідно відповідним чином збільшити число точок виміру. По суті, досвідченим шляхом легко визначити необхідну кількість дискретних точок виміру. Збіжність результати повторних вимірів на різних поверхнях або в різних точках ідентичною поверхні вказують на правильність процесу усереднення по простору.

Фонові шуми

За умови стаціонарності фонових шумів можна зберегти неперевисуючу 1 дБ похибку інтенсиметричних вимірювань навіть в разі,

якщо рівні цих шумів перевищують на макс. 10 дБ рівні звуку, випромінюваного досліджуваним джерелом. Вплив фонових шумів легко оцінити шляхом визначення звукової потужності після усунення або виключення досліджуваного джерела звуку. Відзначимо, що зменшення відстані від досліджуваного джерела звуку сприяє зменшенню впливу фонових шумів і підвищенню надійності і точності інтенсиметричних вимірювань [12].

Інтенсиметричні зонди

3595 – Інтенсиметричний зонд, призначений для роботи з двоканалним спектра типу 2260. У зонді застосовується узгоджена мікрофонна пара типу 4197, що дозволяє проводити вимірювання інтенсивності звуку в діапазоні частот від 20Гц до 6,3кГц.



Рис. 8 Інтенсиметричний зонд 3595

3599 – Універсальний інтенсиметричний зонд, призначений для роботи з аналізатором спектра типу 3560. У зонді застосовується узгоджена мікрофонна пара типу 4197, що дозволяє проводити вимірювання інтенсивності звуку в діапазоні частот від 20 Гц до 6,3кГц

Комплект для інтенсиметричних вимірювань тип 2260е

Аналізатор 2260 в поєднанні з програмним забезпеченням BZ 7205 і інтенсиметричним зондом 3595 дозволяє провести інтенсиметричні вимірювання, спрямовані одночасно на визначення потужності звуку, локалізацію джерела шуму і встановлення акустичних характеристик будівлі.

Функція автоматичного наведення вимірювального датчика і звукового зворотного зв'язку в момент проведення вимірювань дають можливість сконцентрувати всю увагу на плавному скануванні досліджуваної ділянки. Портативна система вимірювання сили звуку виконує миттєвий аналіз потужності і інтенсивності звуку на місці виконання вимірювань.



Рис. 9 Модульний аналізатор 2260

Модульний аналізатор 2260 - портативний аналізатор віброакустических сигналів в режимі реального часу відрізняється різноманітністю прикладних застосувань, завдяки цим особливостям прилад є найдосконалішою в світі портативною системою оцінки для вимірювання і аналізу акустичних і вібраційних сигналів [13].

Висновки по розділу

В першому розділі:

- визначено і досліджено актуальність та мета роботи тобто створення пристрою виявлення повітряних об'єктів;

- окреслені завдання які потрібно вирішити, а саме розглянути математичні та теоретичні засади методології виявлення та обґрунтувати їх використання;
- розглянуто теоретичну інформацію по даній темі та зроблені певні висновки щодо майбутньої реалізації пристрою виявлення повітряних об'єктів в програмному середовищі LabView.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ ВИЯВЛЕННЯ

Вступ

Для реалізації акустичного інтенсиметра був використано програмний пакет LabView . LabVIEW (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) — платформа та середовище розробки для візуальної мови програмування компанії National Instruments (США). Метою даної мови є автоматизація використання обчислювального та вимірювального лабораторного обладнання.

Графічні пакети легко освоюються не тільки програмістами - професіоналами, але і користувачами, що не мають досвіду програмування. На відміну від текстових мов, таких як C, Pascal та інші, де програми складаються у вигляді рядків тексту, в LabVIEW програми створюються у вигляді графічних діаграм, подібних звичайним блок-схемами. Іноді можна створити додаток, взагалі не торкаючись клавіатури комп'ютера [6].

Переваги LabVIEW

- Повноцінний мову програмування
- Інтуїтивно зрозумілий процес графічного програмування
- Широкі можливості збору, обробки та аналізу даних, управління приладами, генерації звітів і обміну даних через мережеві інтерфейси
- Драйверне підтримка більше 2000 приладів
- Можливості інтерактивної генерації коду
- Шаблони додатків, тисячі прикладів
- Висока швидкість виконання скомпільованих програм

- Сумісність з операційними системами Windows2000/NT/XP, Mac OS X, Linux і Solaris.

LabVIEW підтримує величезний спектр обладнання різних виробників і має у своєму складі (або дозволяє додавати до базового пакету) численні бібліотеки компонентів.

В основі технології використання LabVIEW лежить комбіноване моделювання систем на ЕОМ, що включає аналітичне, імітаційне і натурне.

Розробка програми в LabView відбувається одночасно в двох вікнах: блок-діаграма та лицева панель. На лицевій панелі створюється графічний інтерфейс програми і паралельно ведеться зв'язка інтерфейсу з власне програмою, яка створюється за допомогою спеціальних блоків. Таким чином графічний код програми має вигляд специфічної блок-діаграми [6].

2.1 Структурна схема пристрою виявлення безпілотних літальних апаратів

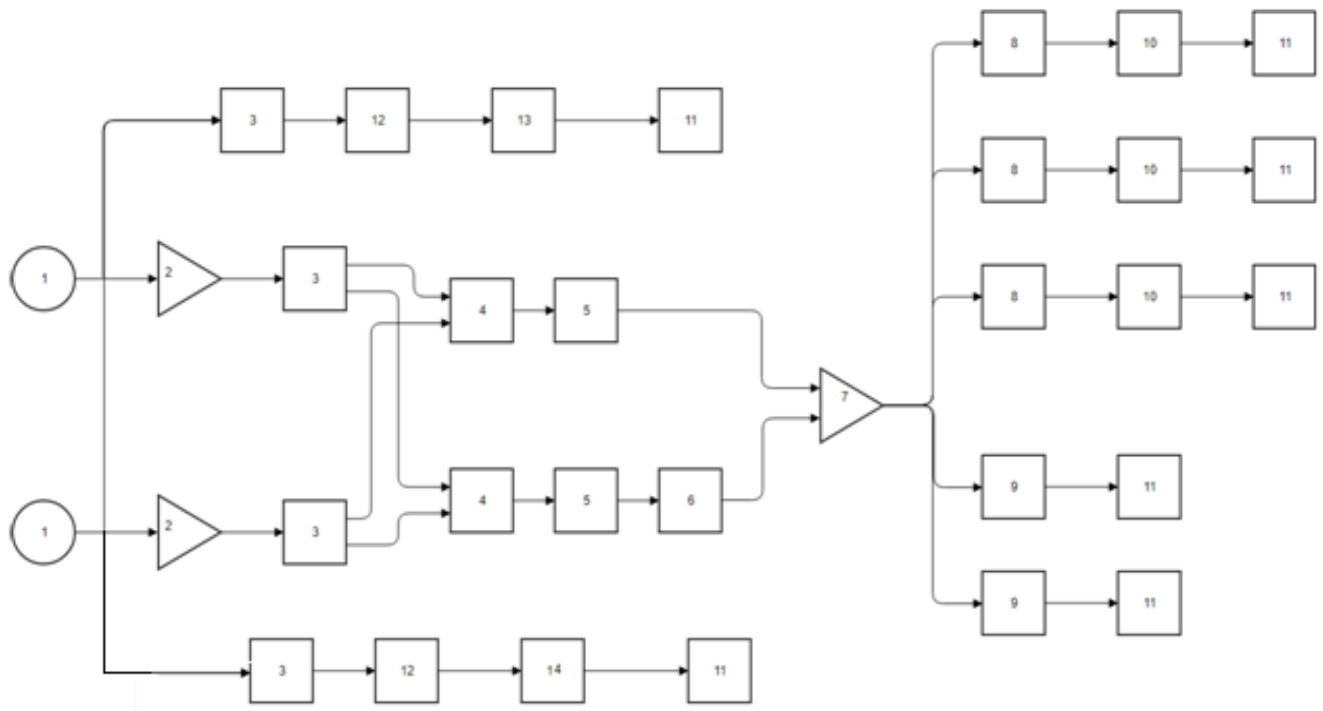


Рис. 10 Структурна схема пристрою виявлення

1 – приймачі тиску; 2 – попередні підсилювачі; 3 – широкосмугові фільтри; 4 – зворотно підключений суматор; 5 – коефіцієнти; 6 – фазоінвертор; 7 – помножувач; 8 – третиннооктавні широкосмугові фільтри; 9 – напівоктавні фільтри; 10 – блоки переходу від значення інтенсивності до рівня інтенсивності; 11 – блоки індикації; 12 – блок FFT; 13 – порогова схема; 14 – блок спектральної кореляційної функції.

Алгоритм виявлення реалізовано з використанням лінійної дискретної акустичної антени яка забезпечує рівний прийом акустичних сигналів, пристрою спряження (система АЦП) та програм обробки інформації на основі пакету LabView на персональному комп'ютері (ПК).

Ідеологія застосування об'єктного програмування базується на використанні трьох типів систем виявлення:

- вузькосмугового спектру (FFT) або шпектру в широкій смузі;
- інтенсивності;
- взаємного спектру.

$$X_1(f) = \int_0^T x_1(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt, \quad X_2(f) = \int_0^T x_2(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt, \quad (30)$$

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) v(t) dt, \quad (31)$$

$$G_{xy}(t) = 2 \cdot X_1^*(t) \cdot X_2(t) = C_{xy}(t) + iQ_{xy}(t). \quad (32)$$

Використання таких дублюючих принципів виявлення базуються на реєстрації проявлення особливостей акустичного поля та впливають на ефективність роботи пристрою [14, 15].

2.2 Функціональна схема пристрою виявлення і пеленгування в програмному середовищі LabVIEW

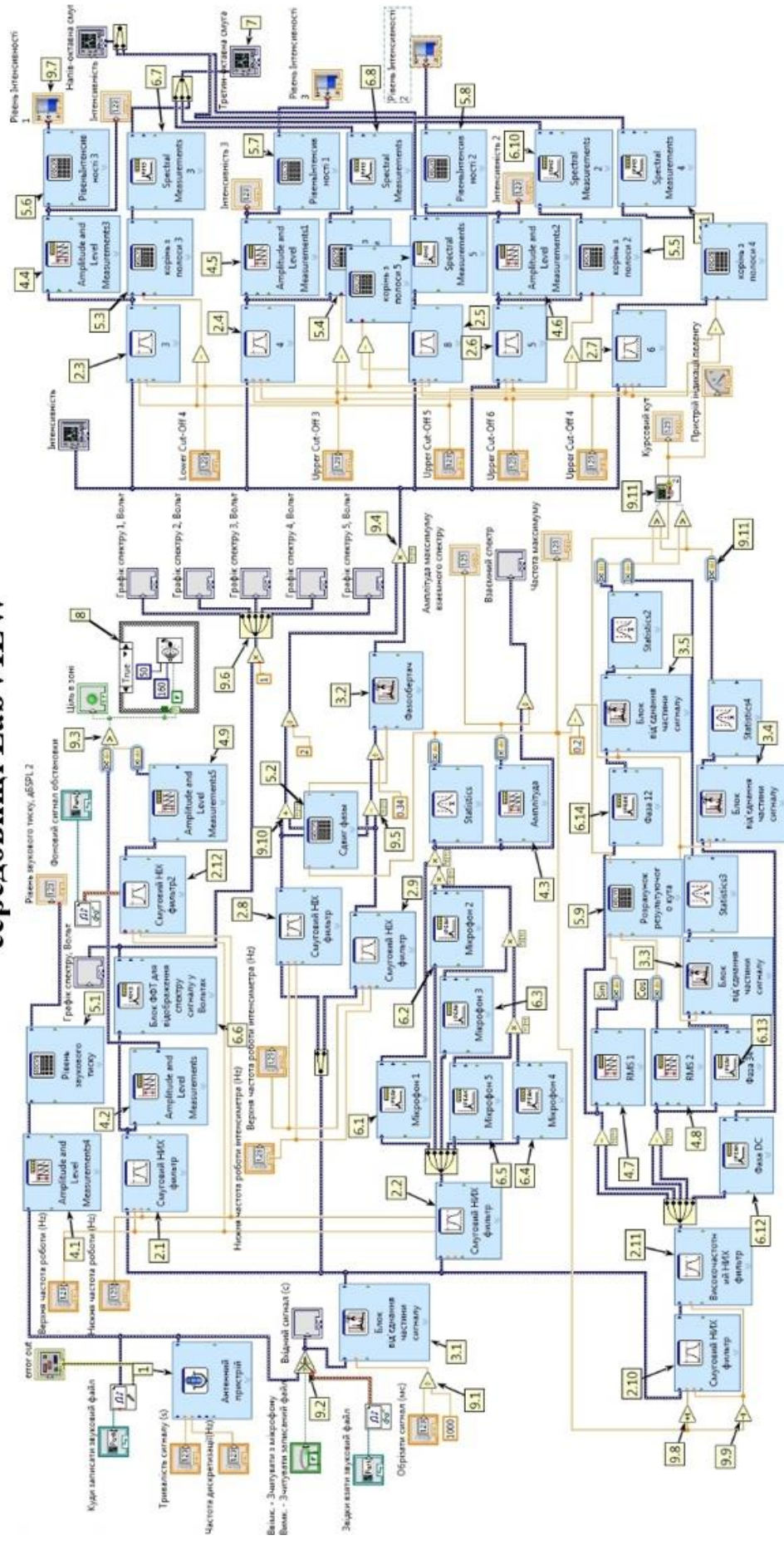


Рис. 1.1 Функціональна схема пристрою виявлення і пеленгування в програмному середовищі LabVIEW

2.3 Загальний устрій пристрою виявлення

На вхід антенного пристрою 1 поступають сигнали із середовища виявлення, час, тобто тривалість сигналу, та частота дискретизації задані оператором на панелі користувача (Front Panel). За допомогою блоку 3.1 існує можливість видозмінювати тривалість сигналу. Після цього вхідний сигнал поступає на три тракти виявлення.

Перший, тракт інтенсивності, що являє собою акустичний інтенсиметр, для реалізації якого необхідно мінімум два елементи антенного пристрою. Одночасно з обох елементів сигнали подаються на октавні смугові НІХ фільтри 2.8 та 2.9, інформацію про смуги яких задається з панелі користувача (Front Panel). Після фільтрації в блоці 2.8 сигнал додається з паралельним та ділиться навпіл. В той час, як після фільтрації в блоці 2.9 сигнал віднімається від паралельного і подається на блок ділення, що імітує фазовий набіг для мікрофонної бази. В подальшому цей канал будемо називати каналом різниці, а інший прямим [16]. Після блока, що імітує базу 9.5, сигнал подається на фазообертач блок 3.2 (Extract Portion of Signal VI), кут повороту фази якого залежить від найбільш вираженої частоти вхідного сигналу та обраховується блоком 5.2, що реалізується за певною формулою.

В результаті, перемноживши сигнали прямого каналу та каналу різниці добуток подається на три тритинооктавні фільтри 2.3-2.5 (Bandpass Filter VI) та два півоктавні 2.7-2.8 інформацію про смуги яких задається з панелі користувача (Front Panel). Для візуалізації та перевірки роботи смугових фільтрів будемо їх спектрограми з використанням блоків 6.7-6.11. Попередньо поділивши корінь зі смуги для отримання спектральної густини потужності, тобто це потужність приведена в смузі 1 Гц блоками 5.3-5.5.

Після операції спектрального аналізу вимірюємо середньоквадратичні амплітуди напруг сигналів блоками 4.4-4.5 (Amplitude and Level

Measurements Express VI), отримуючи при цьому величину інтенсивності. В подальшому перераховуємо її в рівень інтенсивності блоками 5.6-5.8 та візуалізуємо в блоці 7 (блок відображення). Робота блоків полягає у формуванні компактного індикатора, для комфортного сприйняття інформації [17, 18].

Другий, вузькосмугового спектру (FFT), що являє собою октавний смуговий НІХ фільтр та блок розрахунку швидкого перетворення Фур'є. Сигнал паралельно з роботою інтенсиметру проходить фільтрацію у блоці 2.1 та перетворюється у спектр за допомогою блоку FFT 6.6. Одночасно з цим знімаємо параметр амплітуди (Peak to Peak) блоками 4.2 та 4.9 з вхідного фільтрованого сигналу і заздалегідь записаного фільтрованого фоновому сигналу. Після чого ці сигнали обробляються в блоці компарації 9.3 і подаються на блоки індикації 8. Саме останні два блоки і формують порогову схему.

Третій, тракт взаємного спектру, що являє собою октавний смуговий НІХ фільтр та набір блоків розрахунку швидкого перетворення Фур'є. Кількість необхідних блоків FFT обумовлена кількістю елементів антенного пристрою (мінімум два, а для сумісної роботи з пристроєм пеленгування необхідна кількість - п'ять). Сигнали окремо з кожного антенного елементу, паралельно з роботою інтенсиметру та вузькосмугового спектру, проходить фільтрацію у блоці 2.2 та перетворюються у спектр за допомогою низки блоків FFT 6.1-6.5 і перемножуються поміж собою. Визначаємо максимальну частоту та передаємо її у тракти інтенсивності (блок розрахунку зсуву фази 5.2) та пеленгування (блоки фільтру високих частот 2.10-2.11). Нормуємо сигнал та подаємо його у вигляді графіку на панель користувача (Front Panel) [19].

2.4 Опис основних блоків, які використовуються

Основні блоки 1-8:

Acquire Sound Express VI – блок, що отримує дані із звукового пристрою. Цей Express VI автоматично налаштовує вхідне завдання, отримує дані та очищає змінні після завершення роботи.

Блок Acquire Sound сигналу 1 – виконує функцію антенного пристрою за допомогою якого сигнал передається з акустичного пристрою через АЦП (звукову карту) у LabView.

Частоту дискретизації та тривалість сигналу задаємо з панелі користувача (Front Panel) .

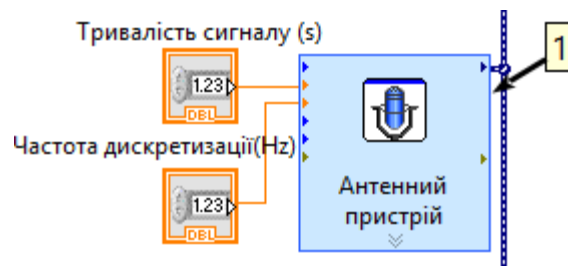


Рис. 12 Блок Acquire Sound Express VI

Bandpass Filter VI – блок частотної фільтрації.

Блоки 2.1, 2.2, 2.12 смугових фільтрів з нескінченною імпульсною характеристикою та еліптичним вікном з такими границями:

- верхня межа – $f_g = 1250 \text{ Гц}$
- нижня межа – $f_n = 250 \text{ Гц}$

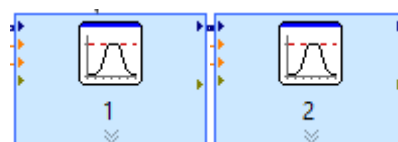


Рис. 13 Блоки Bandpass Filter VI – смугові фільтри

Блоки 2.3 – 2.5 є трьома тритинооктавні фільтрами, що виконують функцію смугових фільтрів, еліптичним вікном з такими границями:

Блок 2.3 смуговий фільтр першої третьоктави:

- верхня межа – $f_s = 250 \text{ Гц}$
- нижня межа – $f_n = 315 \text{ Гц}$

Блок 2.4 смуговий фільтр другої третьоктави:

- верхня межа – $f_s = 315 \text{ Гц}$
- нижня межа – $f_n = 397 \text{ Гц}$

Блок 2.5 смуговий фільтр третьої третьоктави:

- верхня межа – $f_s = 397 \text{ Гц}$
- нижня межа – $f_n = 500 \text{ Гц}$

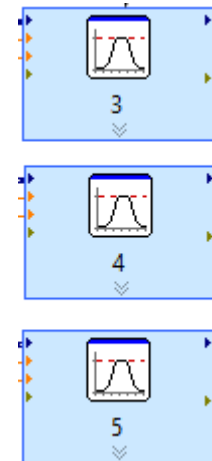


Рис. 14 Три тритинооктавні фільтри

Блоки 2.6 – 2.7 є двома напівоктавними фільтрами, що виконують функцію смугових фільтрів, еліптичним вікном з такими границями:

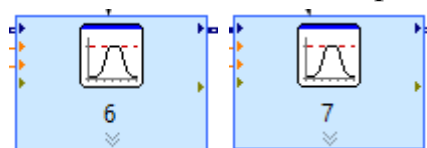
Блок 2.6 смуговий фільтр першої напівоктавни:

- верхня межа – $f_s = 250 \text{ Гц}$
- нижня межа – $f_n = 354 \text{ Гц}$

Блок 2.7 смуговий фільтр другої напівоктавни:

- верхня межа – $f_s = 354 \text{ Гц}$
- нижня межа – $f_n = 500 \text{ Гц}$

Рис. 15 Два напівоктавні фільтри



Блоки 2.8, 2.9 смугових фільтрів з нескінченною імпульсною характеристикою та еліптичним вікном з такими границями:

- верхня межа – $f_s = 1000 \text{ Гц}$
- нижня межа – $f_n = 125 \text{ Гц}$

Ці параметри можна змінювати на панелі користувача (Front Panel).

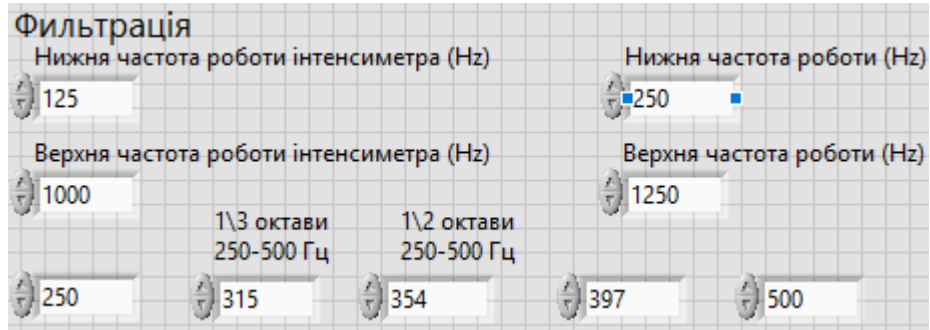


Рис. 16 Фрагмент панелі користувача (Front Panel) для зміни параметрів тритинооктавних смугових та напівоктавних фільтрів

Блоки 2.10, 2.11 фільтр високих частот з нескінченною імпульсною характеристикою та еліптичним вікном з такими границями:

- верхня межа – $f_s = 1000 \text{ Гц}$
- нижня межа – $f_n = 125 \text{ Гц}$

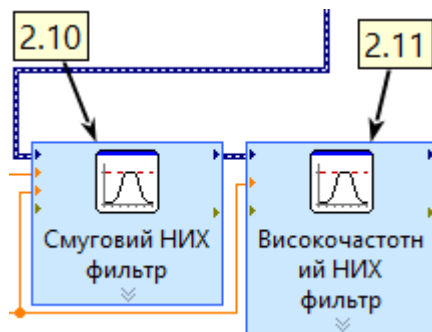


Рис. 17 Фільтр високих частот

Extract Portion of Signal VI – блок часових затримок.

Блок 3.1 витягує частини даних із вхідних сигналів і повертає вилучені дані. Можна витягти одну точку або діапазон даних, і можна витягувати дані

за часом або індексом. Основною задачею блоку є видозмінювати тривалість сигналу.

Блок 3.2 виконує функцію фазообертача. Він дозволяє відділити непотрібну частину сигналу, за заданим значенням часу, що і виконує роль обертача фази. Величина на яку вводиться часова затримка, розраховується у блоці 5.2, відповідно до максимальної частоти, що розрахована на виході тракту взаємного спектру в блоці 4.3.

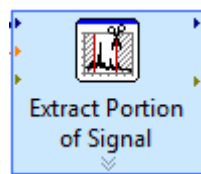


Рис. 18 Блок імітації фазообертача, часовими затримками

Блок 3.3-3.5 зчитує інформацію про фазу.

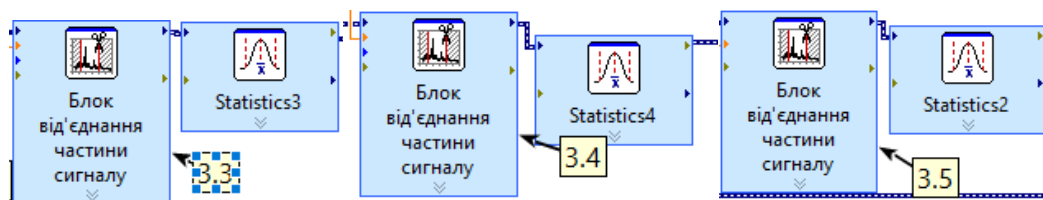


Рис. 19 Amplitude and Level Measurements Express VI

Amplitude and Level Measurements Express VI – блок вимірювання рівнів сигналу, по амплітуді (лінійний, квадратичний та дельта рівні).

За допомогою блоків 4.1 – 4.3, 4.9 – знімаємо амплітуди Подвійна амплітуда сигналу Peak to peak або Амплітудне значення сигналу (Positive peak).

За допомогою блоків 4.4 – 4.8 – блоків відображення електричних значень сигналів – отримуємо середньоквадратичне значення (Root Mean Square) далі RMS, відфільтрованих сигналів.

За допомогою цього блоку також можемо знімати наступні параметри:

- Амплітудне значення сигналу (**Positive peak**)
- Від’ємне значення амплітуди сигналу (**Negative peak**)
- Подвійна амплітуда сигналу (**Peak to peak**)
- Постійну складову сигналу (**Mean (DC)**)

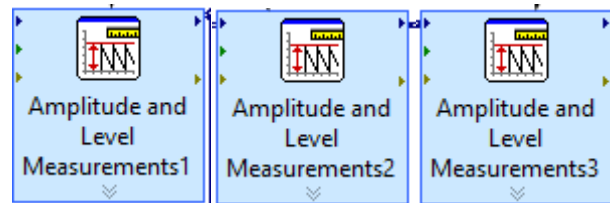


Рис. 20 Блок вимірювання амплітуди сигналу

Formula Express VI – блок, що використовує інтерфейс калькулятора для створення математичних формул. Його можна використовувати для обрахунку та перетворення більшості математичних функцій.

За допомогою блоків 5.1 – блок реалізації математичних формул розраховуємо рівень звукового. Формула, що використовується:

$$L_t = 20 \log \left(\frac{X}{2 \cdot 10E - 12} \right) \quad (33)$$

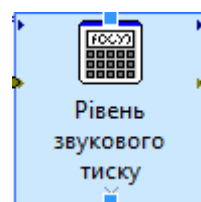


Рис. 21 Блок розрахунку рівня звукового тиску (піктограма)

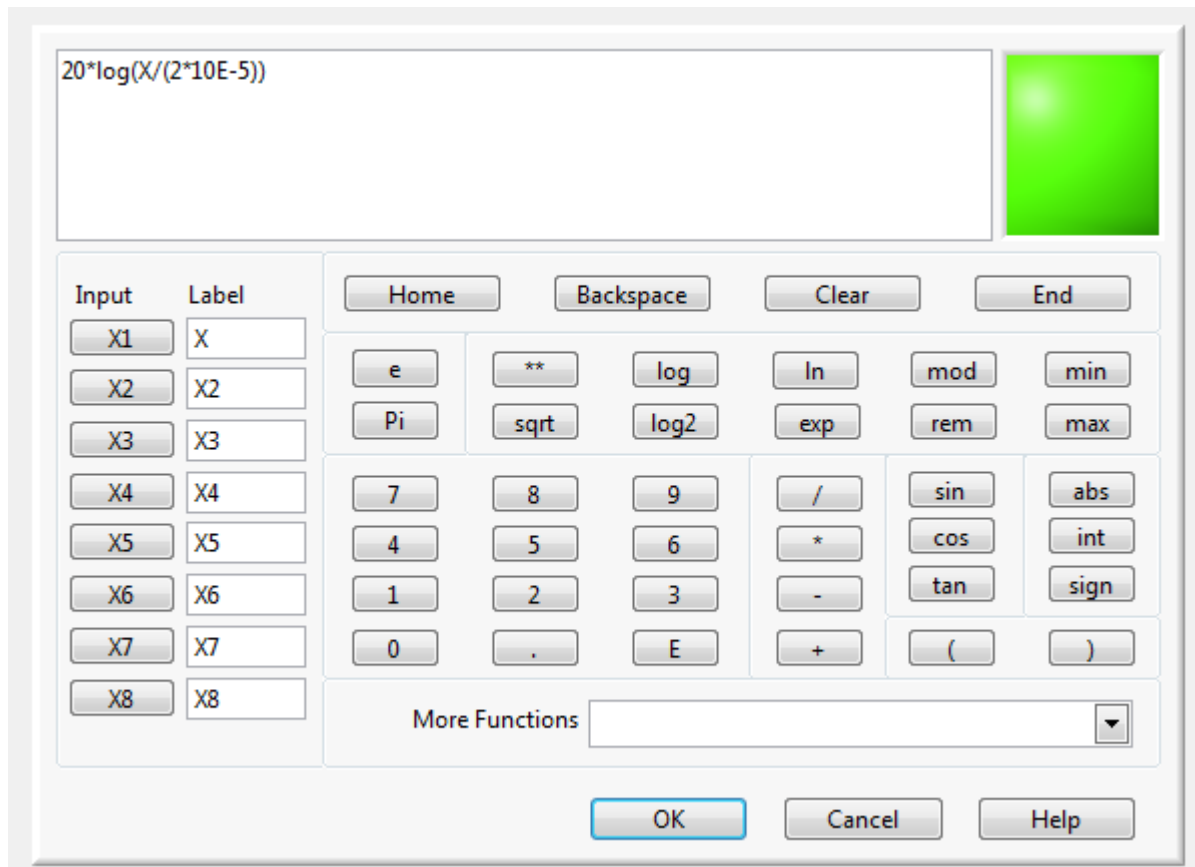


Рис. 22 Блок розрахунку рівня звукового тиску (панель вводу)

За допомогою блока 5.2 – блока для розрахунку зсуву фаз для кожної з частот окремо – отримуємо час затримки, що імітує зсув фаз за допомогою формули:

$$\tau = \frac{\left(\frac{1}{f}\right)}{2} \quad (34)$$

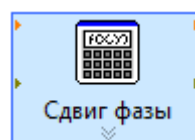


Рис. 23 Блок розрахунку часових затримок (піктограма)

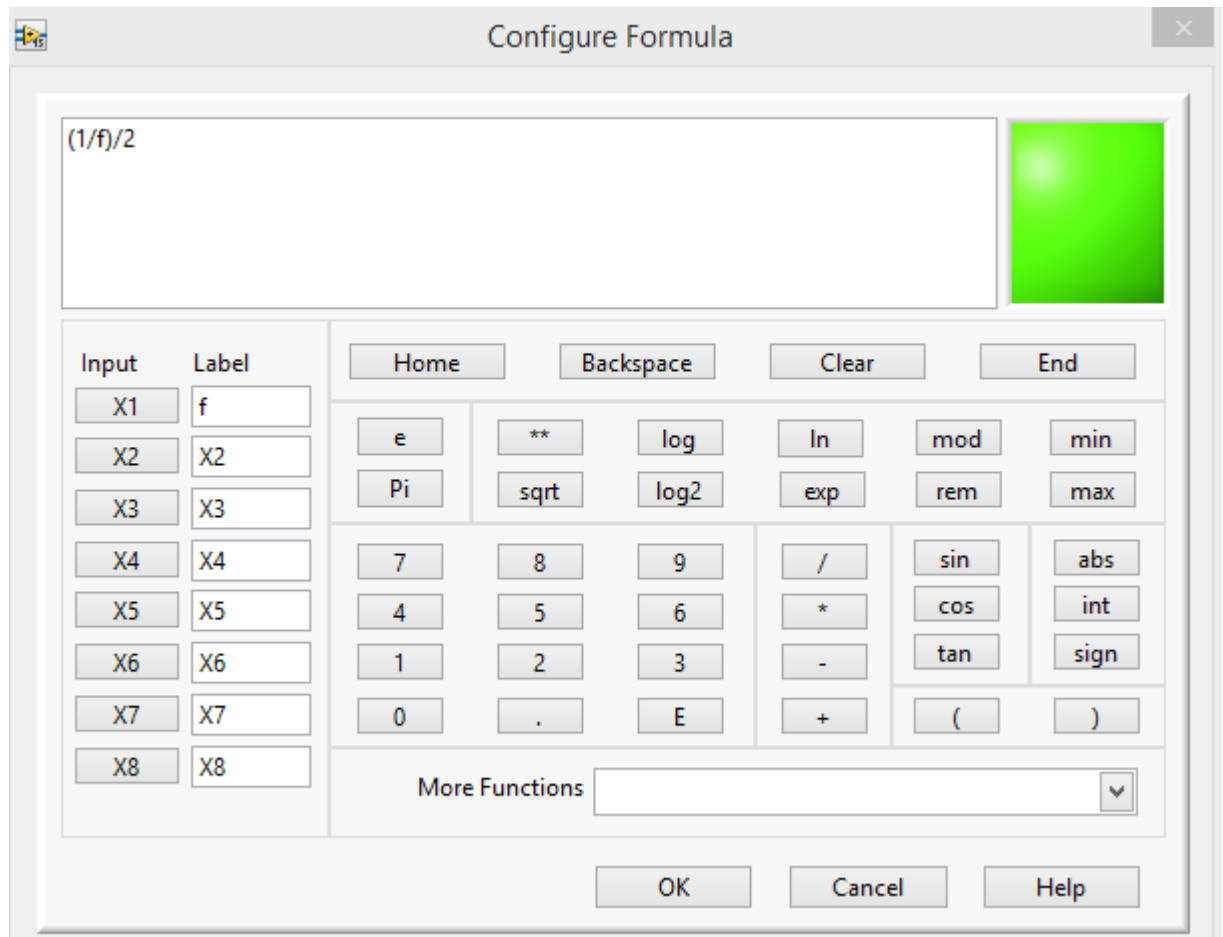


Рис. 24 Блок розрахунку часових затримок (панель вводу)

За допомогою блоків 5.3-5.5. – блоків реалізації математичних формул розраховуємо корінь зі смуги, для отримання спектральної густини потужності, тобто це потужність приведена в смугі 1 Гц. Формула, що використовується:

$$\left(\frac{X}{\sqrt{f}} \right) \quad (35)$$

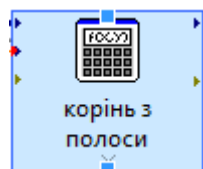


Рис. 25 Блок розрахунку кореня зі смуги (пиктограма)

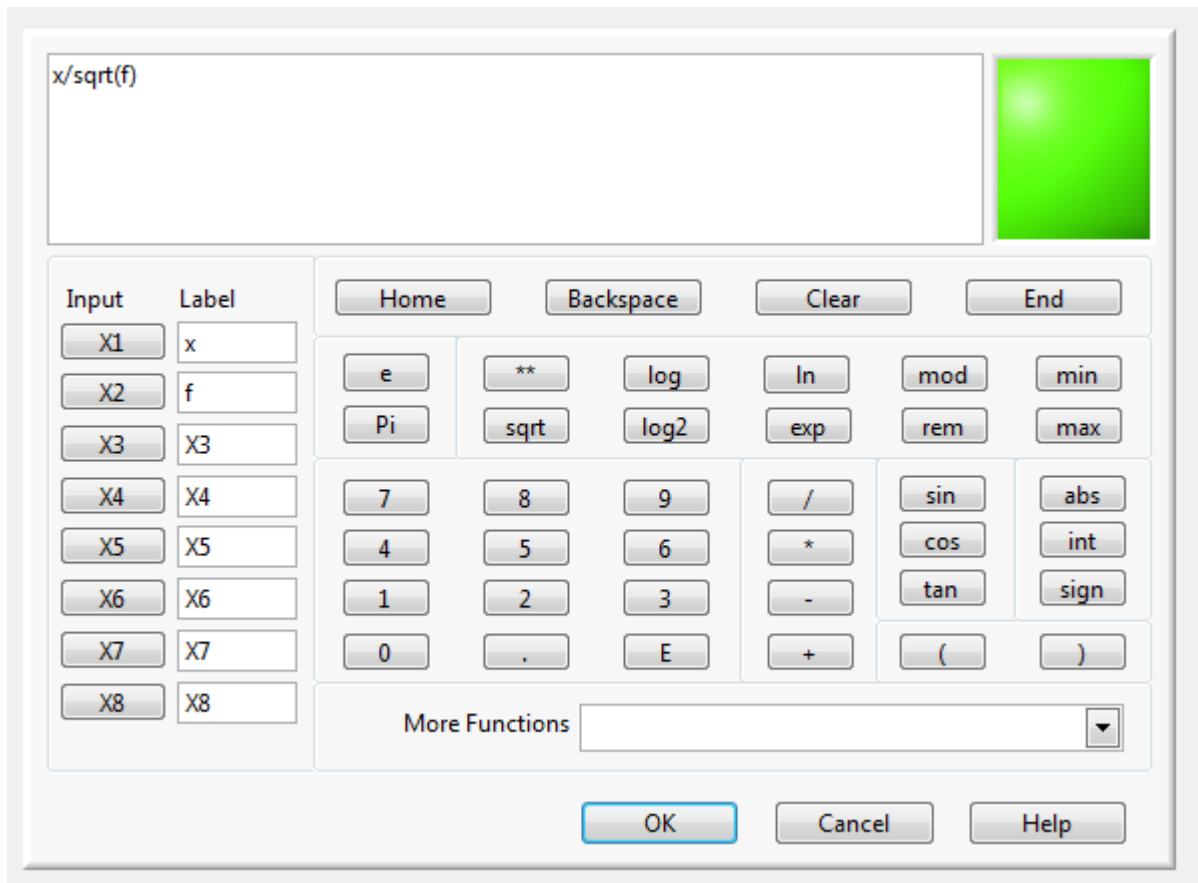


Рис. 26 Блок розрахунку кореня зі смуги (панель вводу)

За допомогою блоків 5.6-5.8. – блоків реалізації математичних формул розраховуємо рівень інтенсивності. Формула, що використовується:

$$L_i = 10 \log \left(\frac{X}{10E - 12} \right) \quad (35)$$

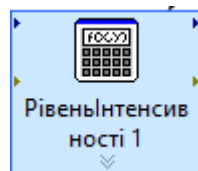


Рис. 27 Блок розрахунку рівня інтенсивності (піктограма)

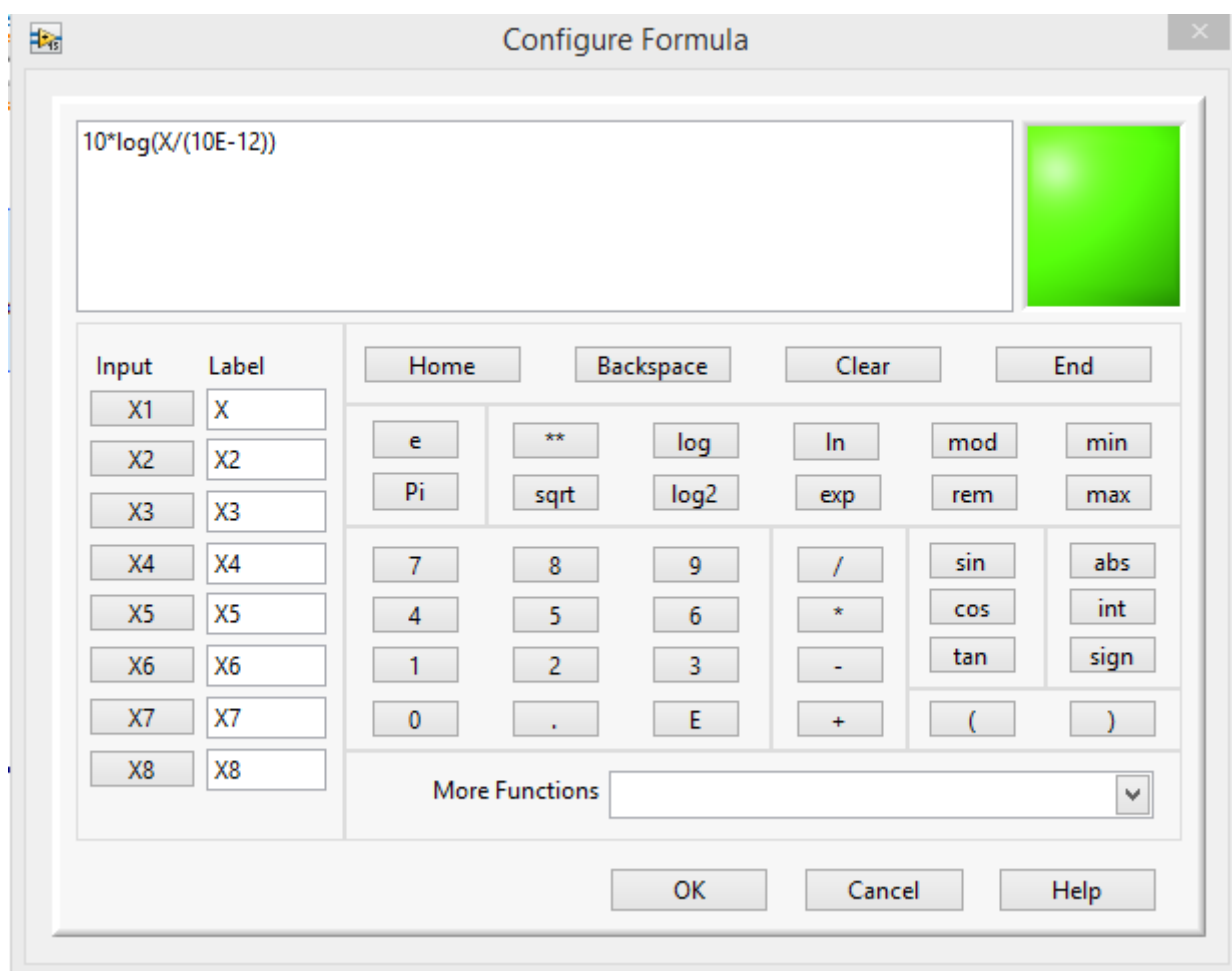


Рис. 28 Блок розрахунку рівня інтенсивності (панель вводу)

За допомогою блока 5.9 – блока для розрахунку результуючого кута за допомогою формули:

$$\tau = \frac{180 \left(a \tan \frac{\sin}{\cos} \right)}{\pi} \quad (36)$$

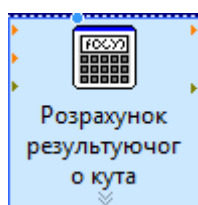


Рис. 29 Блок розрахунку результуючого кута (піктограма)

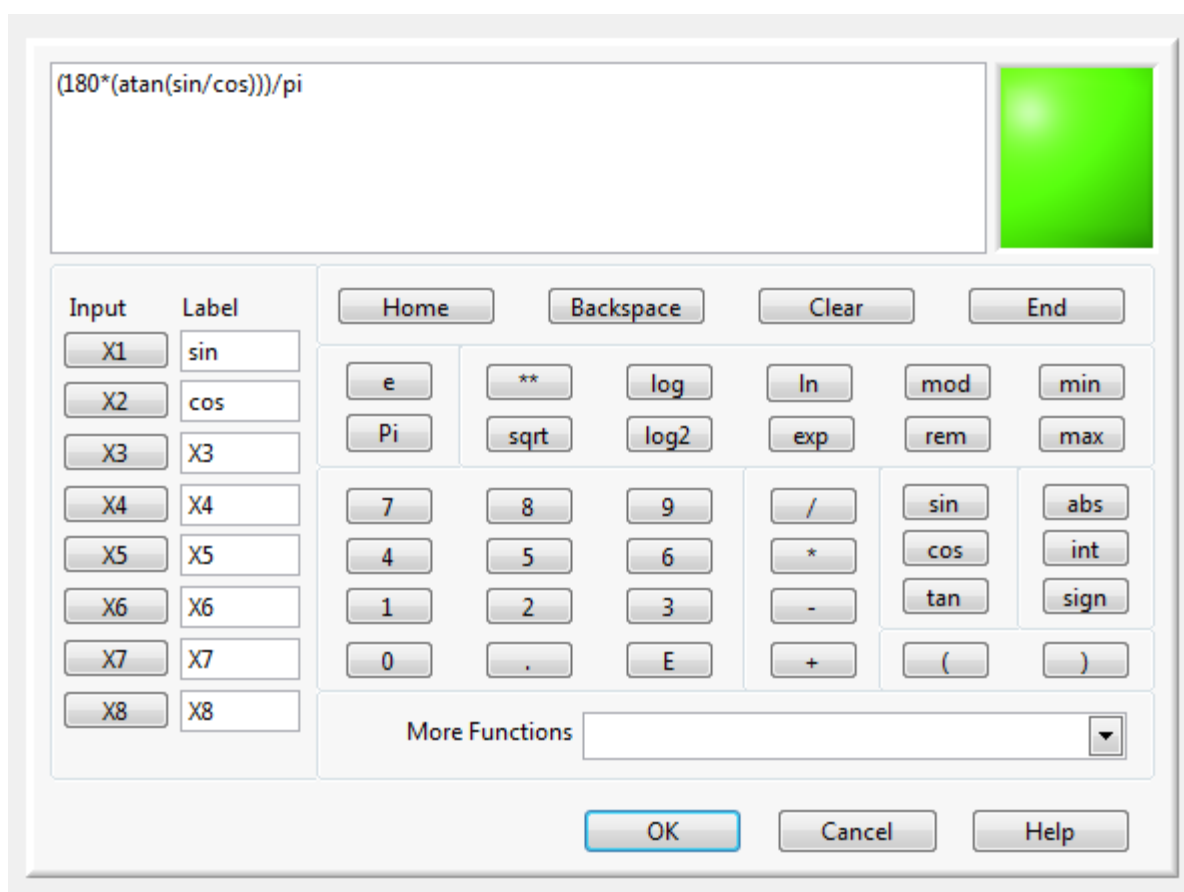


Рис. 30 Блок розрахунку результуючого кута (панель вводу)

Spectral Measurements Express VI – представляє спектр вимірювань, що базується на швидкому перетворенню Фур'є, такі як амплітудний спектр, спектр потужності і фазовий спектр.

За допомогою блоків 6.1 – 6.11 – блоків відображення спектру сигналу, використовуються для отримання частоти сигналів. Тобто перетворення часового сигналу в частотний.

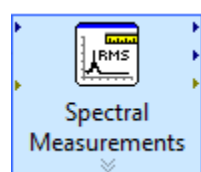


Рис. 31 Блок представлення спектру вимірювань

За допомогою блоків 6.12 – 6.13 – блоків відображення спектру сигналу, використовуються для отримання фази сигналів.

Case Structure – блок, що виконує одну з умов (True/False) в залежності від поданої на вхід інформації.

За допомогою блока 8 рис.32 – відбувається порогова обробка блоку сигналізації порогу. Тобто порівняння (блоком 9.3) інтегральних рівнів наявного сигналу (блок 4.2) і фонового інтегрального рівня (блок 4.9). Якщо значення наявного сигналу перевищує фоновий спрацьовує звуковий сигнал та загорання зеленої лампи рис. 34 на панелі користувача.

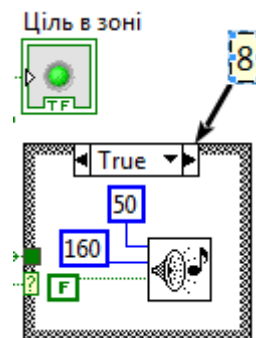


Рис. 32 Порогова схема

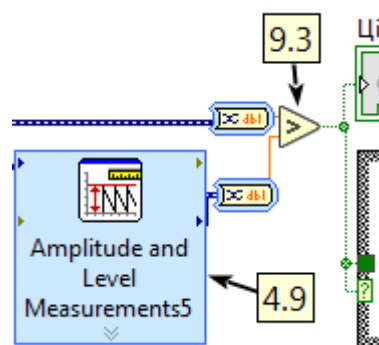


Рис. 33 Блок порівняння

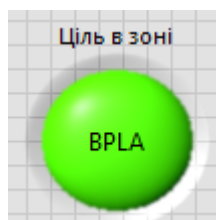


Рис. 34 Сигнальна лампа спрацювання порогової схеми

Якщо значення інтегрально рівня наявного сигналу не перевищує фоновий інтегральний рівень, то на виході блока порівняння рис. 32 генерується команда «False», що виключає спрацювання порогу.

Якщо значення інтегрально рівня наявного сигналу перевищує фоновий інтегральний рівень, то на виході блока порівняння рис. 32 генерується команда «True», що активує схему сигналізації рис. 35.

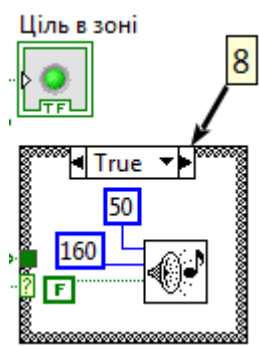


Рис. 35 Схему сигналізації

В блоці сигналізації сигналу є блоки ціль у зоні, що являє собою сигнальну лампу на панелі користувача (Front Panel) та «Beep VI», що є блоком звукової індикації спрацювання звукового сигналу.

Допоміжні блоки 9.1-9.11:

Блок 9.1 виконує функцію ділення.



Рис. 36 Divide Function з коефіцієнт 0.34

Блок 9.2 Select Function (Блок вибору)

Застосовується для зручного перемикання (при двох можливих подіях).

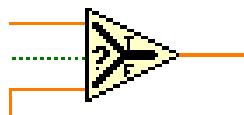


Рис. 37 Select Function

Блок 9.3 Greater? Function виконує функцію порівняння сигналів для роботи порогової схеми.



Рис. 38 Greater? Function

Блок 9.4 Multiply Function – блок множення, що імітує роботу підсилювача. У випадку 9.4 виступає блоком перемножувачем прямого каналу та каналу різниці.



Рис.39 Multiply Function

Блок 9.5 імітує роботу диференційного, зворотно підключеного, підсилювача. На його вхід подаються фільтровані сигнали з блоків 2.8 та 2.9 і відбувається віднімання одного від іншого.



Рис. 40 Subtract Function диференційний підсилювач підключеного зворотно

Блок 9.6 Merge Signals Function (Блок злиття сигналів) об'єднує два або більше підтримуваних сигналів, в один вихідний. Ця функція автоматично з'являється на блок-схемі, коли ви підключаєте вихідний сигнал на провід іншого сигналу.

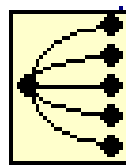


Рис. 41 Merge Signals Function

Блок 9.8 блок графічного відображення значення рівня інтенсивності.

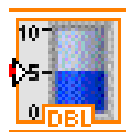


Рис. 42 Tank

Блок 9.8 додає 1 до вхідного значення.



Рис. 43 Increment Function

Блок 9.9 віднімає 1 від вхідного значення.



Рис. 43 Decrement Function

Блок 9.10 Add Function пристрій додавання.

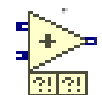


Рис. 44 Add Function

Блок 9.11 призначений для визначення курсового кута [20].

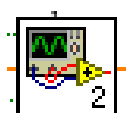


Рис. 45 Блок визначення курсового кута.

Блок 9.12 перетворює з динамічних даних на числові, логічні, сигнальні та масивові типи даних для використання з іншими VI та функціями.



Рис. 46 Convert from Dynamic Data Express VI

2.5 Панель користувача (Front Panel)

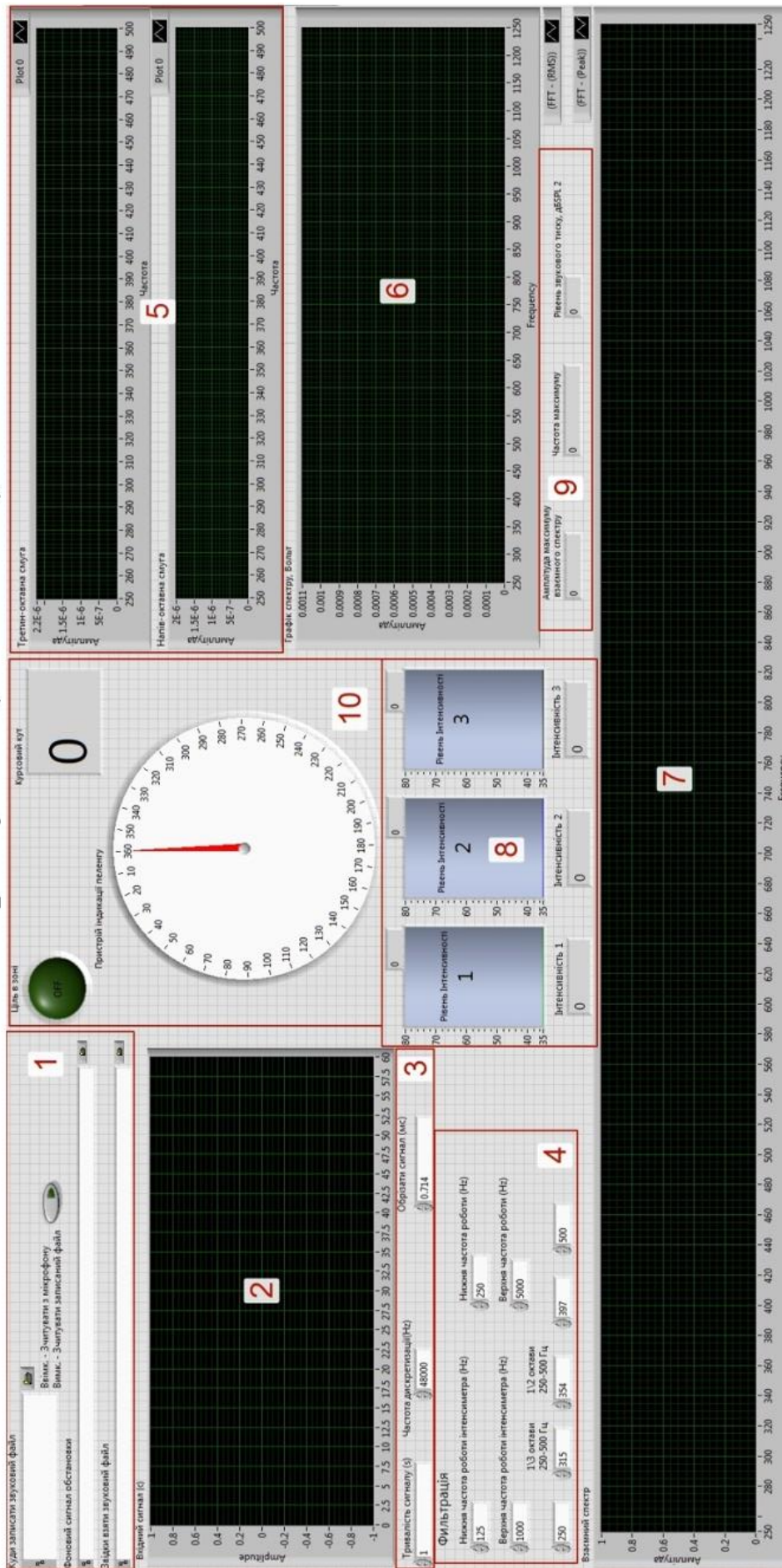


Рис. 47 Панель користувача

Пояснення елементів, які використовуються у схемі на рис. 47 занесено до табл. 2.1.

Пояснення елементів схеми

Таблиця 2.1

Номер елемента	Назва	Пояснення
1	Поля директорій (Path)	Директорії для збереження запису сигналу та фону. Місце знаходження звукового файлу для аналізу. Перемикач між режимом запису та аналізу.
2	Графік вхідного сигналу	На графіку відображена залежність амплітуди сигналу від часу.
3	Вхідні параметри сигналу	Тривалість, частота дискретизації, та можливість розпочати аналіз не з 0 с.
4	Фільтрація	Задання границі фільтрації.
5	Тритин-октавна смуга (Спектральна густина потужності)	На графіку відображена залежність амплітуди сигналу від частоти після тритино-октавної та напівоктавної фільтрації.
6	Графік спектру (FFT)	На графіку відображена залежність амплітуди сигналу від частоти.
7	Взаємний спектр	На графіку відображена залежність амплітуди сигналу від частоти.
8	Танк рівень інтенсивності	Графічного та цифрове відображення значення рівня інтенсивності.

9	Вихідні параметри сигналу	Амплітуда та частота максимуму, рівень звукового тиску.
10	Графічна індикація результатів роботи програми	Індикатор виявлення і круговий індикатор напрямку пеленгування.

Панель користувача (Front Panel) – інтерактивний інтерфейс керування створеним пакетом програм з вільною можливістю налаштовувати інтерфейс для кожного користувача. Також будь-які вхідні дані можна змінювати як і шкали блоків графічного відображення для комфортного сприйняття інформації. В панелі користувача можна змінювати як кольори інтерфейсу так і кольори шрифтів, відповідно до вподобань користувачів.

На групі полів 1 для вводу директорій є можливість задати директорії для збереження запису сигналу та фону. А також обрати вже існуючий звуковий файл для аналізу. Присутній перемикач між режимом запису та аналізу.

На блоці графічного відображення 2 можна буде спостерігати вигляд вхідного сигналу, його форму, амплітуду та фазову відмінність. А також впевнитись в наявності шуму.

Задання вхідних даних сигналів відбувається за допомогою блоків вводу числової інформації 3. Одиниці вимірювання кожного блоку задання інформації відповідають прийнятим в СІ.

Група блоків вводу числової інформації під назвою Фільтрація 4 дає змогу користувачу задати робочу смугу частот, верхню та нижню границю тритинооктавних і напівоктавних допоміжних смугових фільтрів.

На блоці графічного відображення 5 відображена залежність амплітуди сигналу від частоти після тритинооктавної та напівоктавної фільтрації. На

блоці графічного відображення 6 зображено графік вузькосмугового спектру (FFT). На блоці графічного відображення 7 показано графік взаємного спектру. Разом 5-7 використання таких дублюючих принципів виявлення (5-7) базуються на реєстрації проявлення особливостей акустичного поля та впливають на ефективність роботи пристрою.

Індикатори Level Intensity 8 та поле 9 є пристроями цифрового відображення результату програми. На полі графічної індикації результатів роботи програми 10 є лампа «Ціль в зоні», що сигналізує про виявлення БПЛА при її спрацюванні буде вмикатися тракт пеленгування і в результаті буде виведено дані на круговий індикатор напрямку пеленгування. [19].

Висновки по розділу

В другому розділі:

- оцінено якість і переваги програмного середовища розробки LabView. Метою даної мови є автоматизація використання обчислювального та вимірювального лабораторного обладнання;
- отримано тракт виявлення, що є результатом наукового дослідження методології акустичного виявлення повітряних об'єктів;
- окреслена схема та описано її компонування і робота за цією схемою;
- приведена схема реалізації тракту виявлення, описана її робота та розписані усі складові компоненти схеми та їх характеристики у складі пристрою «Акустичний дроно-детектор».

РОЗДІЛ 3.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вступ

Реалізація трактів виявлення шумопеленгаційної системи, шляхом залучення сучасних програмних продуктів LabView та методології вимірювання інтенсивності та спектру, що дозволяє нам багаторазово використовувати ресурси, що при аналоговій реалізації було б дуже витратно. Також великою перевагою є швидкість роботи та її можливість індивідуального налаштування є зручним для сприйняття результатів.

Отже, розробивши алгоритм та провівши повне регулювання, його можна запустити використовуючи програмне середовище LabView. Після чого отримаємо результати роботи трактів виявлення.

3.1 Підготовка апаратури та схеми експерименту

Для проведення акустичних вимірювань, а саме виявлення та пеленгування малозумних літальних апаратів використовується така апаратура:

- лінійна дискретна акустичної антена, що складається з 5 ненаправлених мікрофонів ЕСМ-999 з використанням вітрозахисту та 5 стійок з можливістю виставляти висоту 1-2.2 м.
- пристрій сполучення (система АЦП) 8 канална аудіо карта Tascam US-16X08, що підключена до антени п'ятьма XLR кабелями. АЦП живиться від мережі 220V.
- персональний комп'ютер (ПК) з програмою обробки і відображення інформації на основі пакета LabView.

Перед проведенням експерименту приймальні канали були калібровані еталонним джерелом звуку. Звукова карта дозволяла вести запис із частотою дискретизації 48 кГц аудіо файлів з п'яти мікрофонів на ПК.

Впевнюємось, що сигнал на виході мікрофонів має однакове підсилення на кожному з мікрофонів аналоговим пристроєм підсилення вбудованим в АЦП.

Перевіряємо щоб на ПК в панелі управління звуком в розділі «Запис» була обрана саме наша 8 канална аудіо карта Tascam US-16X08. Цю саму перевірку варто провести і в програмному середовищі LabView.

3.2 Збирання вимірювального стенду (лабораторні умови)

Підключаємо мікрофони до звукової карти п'ятьма XLR кабелями. Аудіо карту Tascam US-16X08 (АЦП) вмикаємо до мережі 220V. За допомогою USB кабелю підключаємо АЦП до ПК. Попередньо необхідно встановити останні драйвера аудіо карти на ПК. Також зазначимо, що для коректної роботи програми необхідно спочатку підключити АЦП до ПК, а тільки потім запускати програму в середовищі LabView. Це необхідно для того, щоб комп'ютер правильно виявив АЦП.

3.3 Проведення вимірювань у лабораторних умовах



Рис.48. Квадрокоптер для випробувань

Для випробування програми було використано саморобний чотирьох гвинтовий квадрокоптер з довжиною гвинта 46см і двигунами Rctimer 5010/14 360KV Multicopter Brushless Motor з характеристиками:

KV: 360

Конфігурація: 12N14P

Діаметр валу (вихідний розмір): 4 мм

Діаметр валу (внутрішній розмір): 5мм

Розміри двигуна: $\Phi 50 \times 26$

Вага (г): 92г, Кабель 40см

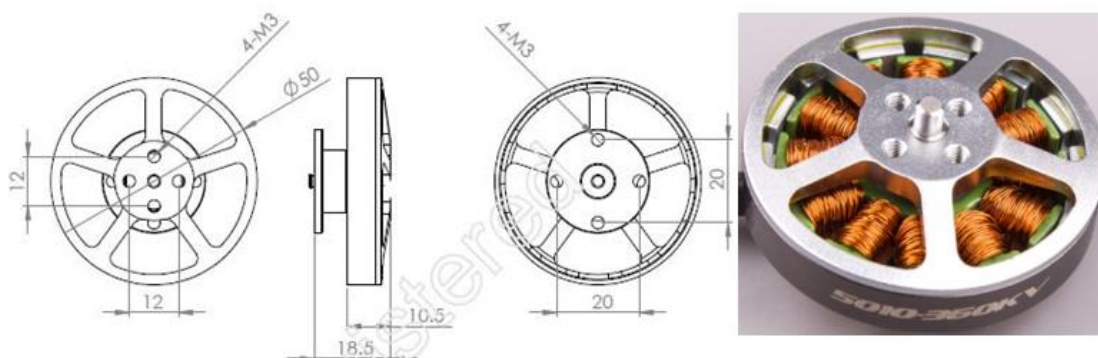


Рис.49. Двигун Rctimer 5010/14

Експеримент для визначення акустичних характеристик для виявлення саморобного квадрокоптера з 46 см гвинтами проводився у 220 кімнаті 12 корпусу, що являє собою безехову кімнату з розмірами 6.9х4.3х3.3 м, на момент проведення експерименту температура повітря становила 22⁰С.

Було використано антенний комплекс з 5 мікрофонів, звукову карту та ПК. Квадрокоптер був встановлений на акустичній вісі на відстані 2.5м від антени. Оператор з ПК знаходився на відстані 4 м.

Схема експерименту приведена на рисунку 50.



Рис. 50. Схема експерименту

Було проведено 5 записів сумарних шумів квадрокоптера і при цьому квадрокоптер був закріплений на підлозі за допомогою грузів і працював в двох режимах (середніх і максимальних обортів).

Обробка записів аудіо файлів проводилась на ПК з використанням програмного середовища LabView та зводилась до третин-октавної та напів-октавної смугової фільтрації аудіо запису в діапазоні частот (250–500)Гц, розрахунку спектру з використанням ШПФ і розрахунку взаємного спектру.

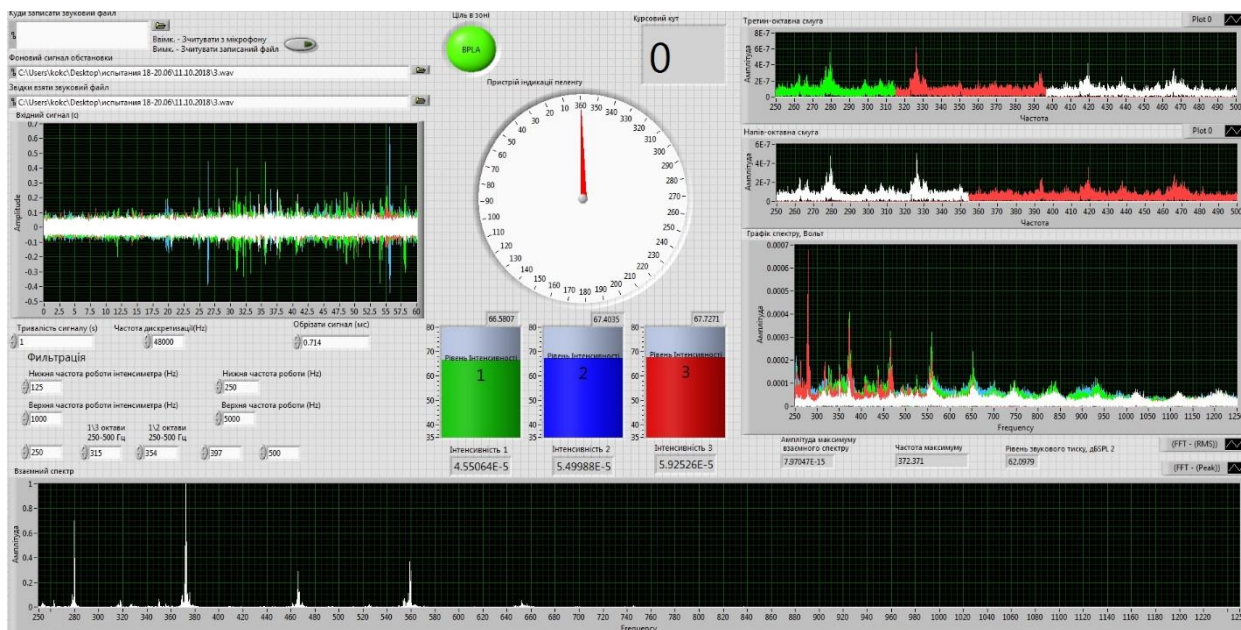


Рис.51. Результат роботи програми.

В результаті роботи програми було на графіку FFT отримано п'ять сплесків спектрального сигналу в діапазоні (250-1250) Гц на частотах 280 Гц, 370 Гц, 465 Гц, 560 Гц, 660 Гц. Отриманий сумарний рівень випромінювання становив $L_{sn} = 62dB SPL$ на відстані $r_s = 2.5m$ від об'єкту.

Після обробки трактом інтенсивності отримали значення в $67 dB$ по кожній з третино-октавних смуг. Було визначено найбільш характерна частота квадрокоптера є 372 Гц. Дана частота була виявлена на двох з трьох трактів, що є передбачливим, застосування саме трьох різних за фізикою трактів. Використання таких дублюючих принципів виявлення базуються на реєстрації проявлення особливостей акустичного поля та впливають на ефективність та надійність роботи пристрою.

Отже, основною метою експерименту було перевірка трьох трактів виявлення та визначення характерних частот квадрокоптера, що і було зроблено.

3.4 Підготовка матеріальної бази для вимірювання на відкритих просторах, збирання стенду, проведення вимірювань в натурних умовах

Експеримент по виявленню квадрокоптера Phantom 3 standard [21] проводився за межами міста, в полі, в теплу вологу погоду з температурою повітря 20°C. Відчувались пориви вітру, шуми дерев та руху авто по автомагістралі на відстані 1 км.

Схема експерименту приведена на рисунку 52.

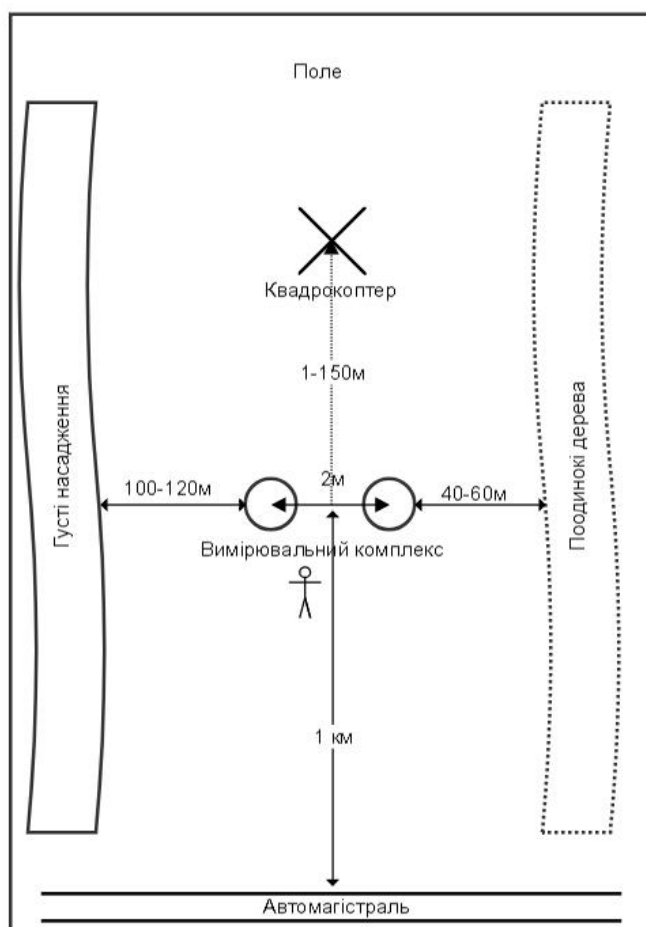


Рис.52. Схема експерименту

Вимірювальний комплекс мав два мікрофони, звукову карту та ПК. Мікрофони були встановлені на висоті 1.5м над землею покритою травою. Акустична база становила 2м. Перед проведенням експерименту приймальні канали були калібровані еталонним джерелом звуку. Звукова карта дозволяла вести запис із частотою дискретизації 48 кГц аудіо файлів з двох мікрофонів на ПК.

Експеримент проводився в декілька етапів. На першому вівся запис акустичних завад. На другому записувались сумарні шуми квадрокоптера і завад в режимі зависання над мікрофонами. Висота зависання визначалась по навігаційному приладу і становила приблизно 5м над мікрофонами. Треба зауважити, що квадрокоптер ризикав у вертикальному та горизонтальному напрямку від заданого положення під впливом вітру. При цьому були чутні зміна режиму роботи двигунів.

Обробка записів аудіо файлів проводилась на ПК з використанням програмного середовища LabView та зводилась до третин-октавної та напів-октавної смугової фільтрації аудіо запису в діапазоні частот (250–500)Гц, розрахунку спектру з використанням ШПФ і розрахунку взаємного спектру.

Було проведено 20 записів, далі будуть приведені декілька з них.

На рис. 53 зображена роботи програми при відстані до квадрокоптера 5м і висотою на землею в 2м.

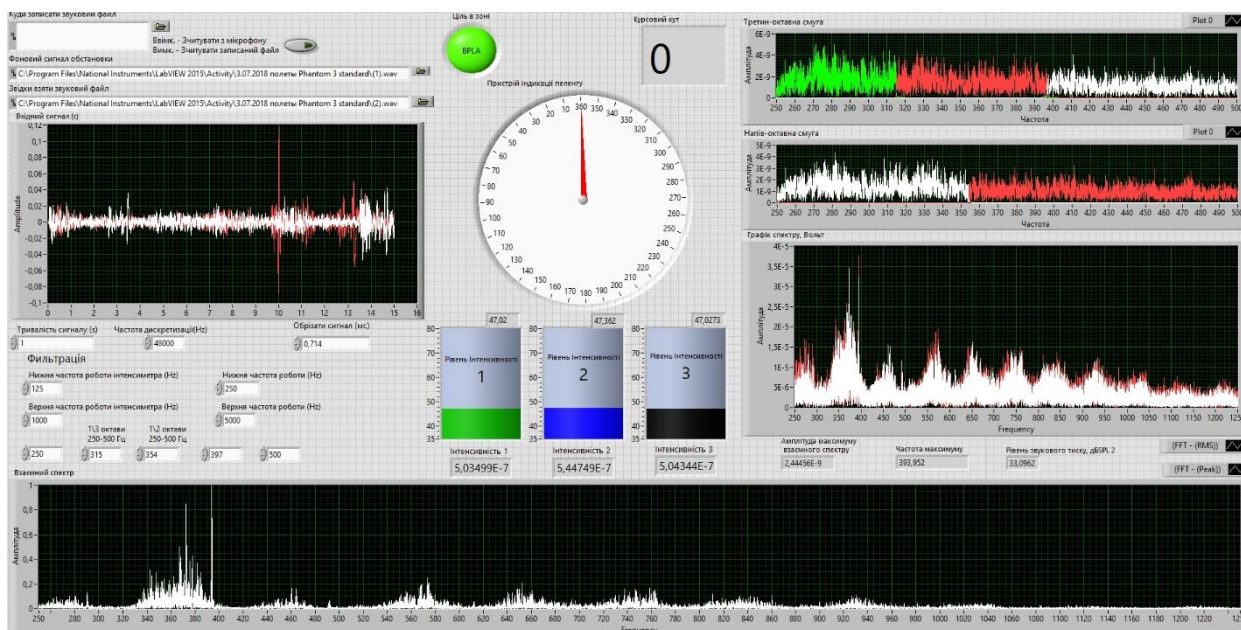


Рис.53. Результат роботи програми.

На рис. 54 зображена роботи програми при відстані до квадрокоптера 150м і висотою на землю в 10м.

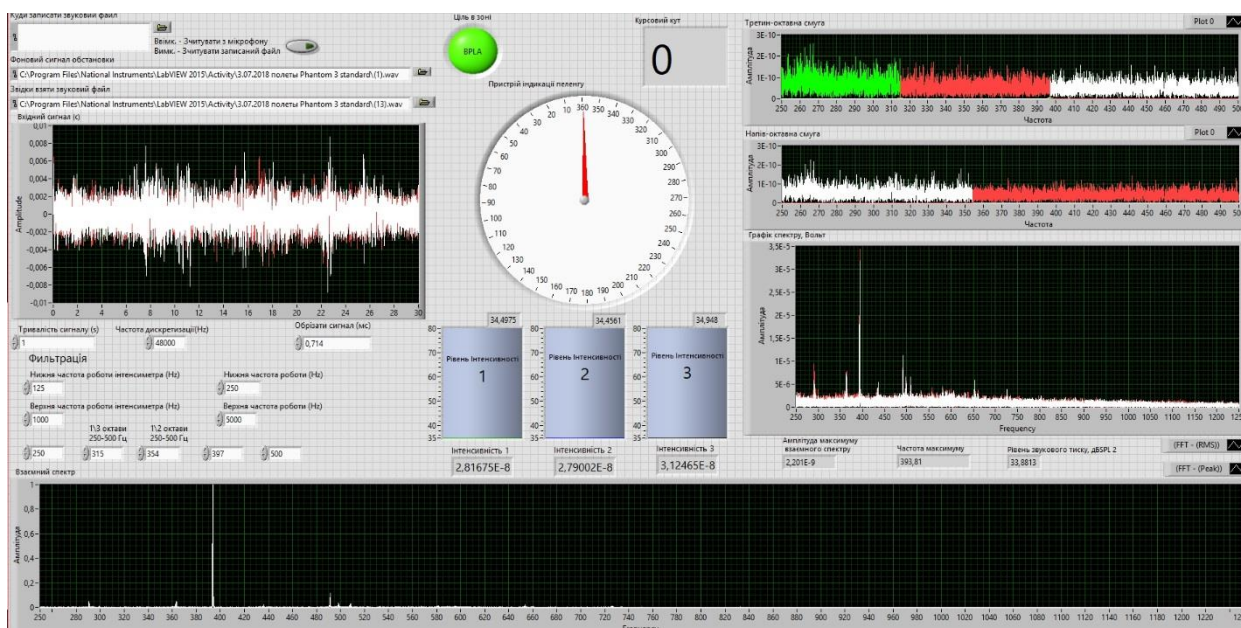


Рис. 54. Результат роботи програми.

Були проведені дослідження в польових умовах, результатом яких є отримані записи квадрокоптеру та аналіз результатів представлених на рис. 53 та 54.

В результаті роботи програми було отримано характерну частоту квадрокоптера 393 Гц. На всіх проведених вимірювання була виражена саме ця частота.

За критерієм Неймана – Персона вірогідності правильного виявлення $D=0.9$ та вірогідність хибної тривоги $F=0.01$. Правильність прогнозу було перевірено по результатам обробки записів польоту дрону. Квадрокоптер летів на мікрофони по осі до акустичної бази. Горизонтальна відстань до місця старту була визначена рулеткою і становила 100м, висота польоту вимірювалась навігаційним приладом і становила 30м. Горизонтальна швидкість руху підтримувалась по можливості постійною, близько 3м/с.

Об'єкт вважався виявленим, коли рівень вихідної реакції детектора перевищував рівень завади [22, 23].

В результаті проведення експерименту було встановлено, що тракти виявлення в складі даного пристрою є робочим.

Висновки по розділу

В третьому розділі:

- визначено усі необхідні компоненти для правильної роботи алгоритму;
- отримано фінальний вигляд трактів виявлення, що був застосований у лабораторних та натурних умовах;
- результати представлені у зручному для сприйняття форматі та вірних одиницях виміру, що дозволяє зробити кінцеві висновки по роботі програми .

РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ

“Акустичний дроно-детектор”

Мобільний комплекс “Акустичний дроно-детектор” являє собою автоматичну систему виявлення і безпілотників. Комплекс призначений для оперативного розгортання з метою захисту важливих об'єктів, заходів та високопоставлених осіб від спостереження і атак із застосуванням безпілотних літальних апаратів [24].

Актуальність проекту

- ▶ Швидкий розвиток парку безпілотних повітряних дистанційно керованих апаратів.
- ▶ Відомості про акустичні характеристики таких пристроїв досі належно не сформовані.
- ▶ Пристрій побудовано на основі останніх здобутків компанії National Instruments , а саме програмному забезпеченні LabView.

Українського прототипу “Акустичний дроно-детектор” на сьогодні не існує.

Які проблеми ринку вирішує продукт стартапу:

- Тероризм

Здійснення терористичних актів шляхом повітряного закидання вибухових пристроїв в місця скупчення людей (вокзали, стадіони, масові культурні заходи).

- Транспортування заборонених вантажів

(Зброї, наркотиків, грошей) на територію пенітенційних закладів.

- Пошкодження майна

Пошкодження ліній електропостачання і систем телекомунікацій.

- Шпигунство

Ведення військового, державного, промислового та комерційного шпигунства.

- Ускладнення повітряного руху

Ускладнення повітряного руху або пряма атака на повітряні судна в зоні аеропортів.

- Спостереження

Проникнення на приватні та стратегічні території для спостереження і відеозйомки.

- Вандалізм

Пошкодження будівель, пам'ятників культури, об'єктів інфраструктури і транспортних засобів.

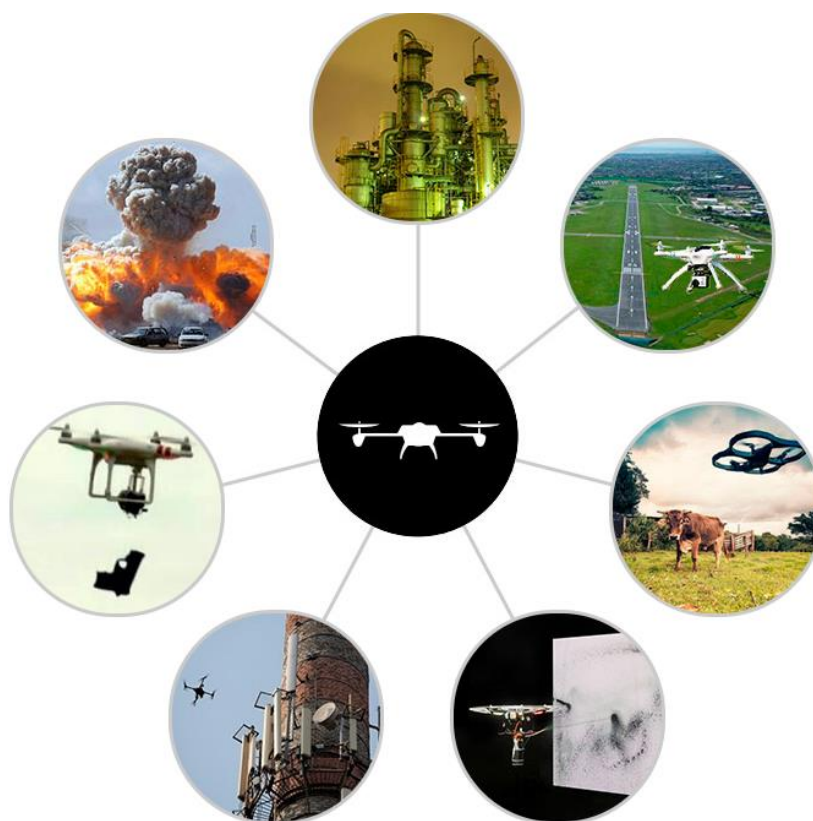


Рис.55 Проблеми ринку, що вирішує продукт стартапу

Аналіз ринку: конкуренти, їх продукція, в чому переваги і недоліки продукції конкурентів.

- Конкуренти:

- Україна: немає

Світ: близько 22 компаній

Австралійська компанія DroneShield постачає декілька акустичних систем виявлення. Одна з них – DroneShield FarAlert Sensor (рис. 56).

Система використовує вузький 30-градусний промінь довжиною до одного кілометра, що забезпечує виявлення БПЛА до 500 ярдів над землею при максимальній довжині. Пристрій включає в себе двофутову «тарілку», яка призначена для монтажу на стандартній антенній щоглі базових станцій.



Рис. 56. DroneShield FarAlert Sensor

Прототипом приладу «АП-1» обрано прилад DroneShield FarAlert Sensor.

Недоліками згаданих приладів є неточність виявлення та пеленгування, що спричинена рівнем шумових завад навколишнього простору.

Недоліками згаданих приладів є неточність виявлення та пеленгування, що спричинена рівнем шумових завад навколишнього простору.

Вирішення даної задачі полягає у одночасному використанні спрямованих властивостей системи приймачів та застосуванні спектральних методів обробки, які дозволяють по часовому зсуву взаємної кореляційної функції визначити пеленг на об'єкт. Конфігурація антенного приладу дозволяє реалізувати декілька методів виявлення та пеленгації, а саме: виявлення за компонентою інтенсивності звуку, виявлення за просторовим спектром (звичайна ХС), виявлення за акустичною

сигнатурою (спектром прийнятого сигналу), пеленгація методом взаємних спектрів та пеленгація фазовим методом. При цьому неоднозначність пеленгування, що властива фазовому методу за певних хвильових співвідношень між сигналом цілі та розмірами баз акустичної антени, усувається шляхом визначення квадранту спостереження за знаками вихідних напруг косинусно-синусного комбінованого приймача.

Таблиця 4.1. Характеристики аналогів

Прилад	Дальність виявлення, м	Кут пеленгу, °	Кут азимуту, °	Робочий діапазон температур, °C
DroneShield FarAlert Sensor	460	0-360	0-180	-15...+ 40
Drone Detector	250	0-360	0-180	-10...+ 50
SafeSky	1000	0-360	0-180	-30...+ 50
DD610AR	1000	0-360	0-180	-10...+ 50

Сутність ідеї стартапу. Сутність технічного рішення стартапу, конкурентні переваги продукту.

- Ідеологія полягає у використанні трьох методів виявлення: спектру (FFT), інтенсивності та взаємного спектру. Застосування їх одночасно підвищує завадостійкість та надійність результатів виявлення.
- Акустична система побудована з урахуванням засобів симуляції при отриманні однонаправлених характеристик направленості.
- Для вимірювання сигналів зараз використовується складна і досить габаритна апаратура, досить складно її ремонтувати або навчитись правильно користуватись. Якщо потрібно буде знімати данні та зберігати їх або зберігати інформацію у центрах її накопичення це зробити дуже складно.

- ▶ Ми ж дозволимо відмовитись від складних аналогових приладів та залишити тільки декілька блоків, включаючи комп'ютер.
- ▶ Пристрій буде представляти собою лінійну дискретану еквідистантну неперервну акустичну антену підключену до персонального комп'ютера через АЦП.
- ▶ Інвестиції в український продукт стимулюватиме розвиток вітчизняної економіки.

Хто є споживачами продукції і в чому полягає ціннісна пропозиція

Споживачі:

- ▶ Охоронні служби
- ▶ Військові
- ▶ Підприємства та центри обробки даних
- ▶ Аеропорти та Стадіони
- ▶ VIP та власники нерухомого майна

Ціннісна пропозиція:

- ▶ Захист літальних апаратів від зіткнення з дроном
- ▶ Охорона повітряного простору стратегічно важливих об'єктів
- ▶ Захист громадських місць від терористичних актів
- ▶ Захист від промислового шпionaжу
- ▶ Захист від пошкодження майна

Канали збуту продукції.

Прямі канали збуту (директ-маркетинг та інтернет-маркетинг):

- Військові купуватимуть комплекс “Акустичний дроно-детектор” відразу на місці збирання.
- Через фірмовий сайт “Акустичний дроно-детектор” зможуть придбати кінцеві споживачі (VIP та власники нерухомого майна)

Непрямі каналу збуту:

- Охоронні служби купуватимуть комплекс “Акустичний дроно-детектор” для встановлення своїм клієнтам.
- Каналів збуту другого рівня даний стартап не передбачає.

Заходи маркетингового просування продукції проекту.

- ▶ Виставки
- ▶ Гранти
- ▶ Реклама на сайтах(в магазинах) з продажу дронів
- ▶ Реклама на сайтах(в магазинах) охоронних послуг
- ▶ Публічні покази роботи комплексу
- ▶ Реклама НА YouTube

Обґрунтування бізнес моделі стартапу

- ▶ Віртуальний продавець (Virtual Merchant)
- ▶ Рітейлер, що працює виключно в інтернеті.
- ▶ Виробник
- ▶ Купівля (Purchase)

Стандартна продаж, при якій права власності на об'єкт угоди переходять покупцеві.

Стиль БМ: бізнес, орієнтований на інновації – розробка нових товарів і послуг

Класифікація ризиків нового продукту “Акустичний дроне-детектор”

Таблиця 4.2. Класифікація ризиків нового продукту

№	Об’єкт	Визначення	Приклад
1.	Внутрішні ризики		
1.1	Час	Для проектів створення програмних рішень, як виду інноваційної діяльності, характерне неточне визначення планових строків реалізації.	Розробка однієї з функцій створюваного програмного продукту по суб’єктивним причинам затребувала більше трудовитрат, ніж попередньо оцінив експерт
1.2	Технологія	Ризики, пов’язані з вибором оптимальної технології виконання проекту	Концепція проекту розробки програмного продукту і всі проектні рішення передбачали реалізацію проекту на конкретній технологічній платформі, а в результаті частина функціоналу не змогла бути реалізована
2.	Зовнішні ризики		
2.1	Держава	Ризики політичного, законодавчого та соціального характеру	Прийняття неочікуваного законопроекту, що матиме вплив на ефективність реалізації проекту
2.3	Зовнішня економіка	Ризики, пов’язані з валютними операціями, зовнішньоекономічними контрактами, організацією «віддалених робочих місць»	Введення змін на макроекономічному рівні, що матиме вплив на виконання дійсних міжнародних контактів
2.4	Контрагенти	Ризики, що можуть виникнути в процесі ведення взаєморозрахунків, виконання контрактних поставок та зобов’язань і т.д.	Порушення умов договорів поставки компонентів продукту проекту
2.5	Науково технічний прогрес	Ризики, що виникають у тривалих, негнучких проектах, та пов’язані з появою в галузі нової, кращої технології або інструментарію до завершення такого проекту	Вихід на ринок нової версії технологічної платформи (базового компоненту для розробки)

ВИСНОВКИ

В даній роботі було досліджено способи створення пристрою виявлення та розроблено сам пристрій в програмному середовищі LabView. В результаті проведених робіт:

1. Визначені і оцінені можливості пакету LabView для створення основних схемо-технічних і функціональних рішень пристрою виявлення;
2. Розглянуто теоретичну інформацію по даній темі для майбутньої реалізації пристрою виявлення в програмному середовищі LabView;
3. Розроблена схема реалізації пристроя виявлення, описана її робота та розписані усі складові компоненти схеми та їх характеристики у складі цієї схеми;
4. Визначено можливість застосування акустичних методів пасивної локації рухомих малогабаритних повітряних об'єктів.
5. Визначений основний чинник, що характеризує акустичне поле в робочих умовах виявлення та сформовано структуру системи виявлення та пеленгування;
6. Визначено та відмакетовано багатофункціональну акустичну антену, що реалізує методологію роботи з прийомниками тиску і комбінованими прийомниками;
7. Розглянуто в середовищі LabView на засадах об'єктного програмування виконано програмне забезпечення зазначеного пристрою шумопеленгування;
8. Отримані результати розробки перевірені в практичних умовах із залученням БПЛА квадрокоптерного типу в лабораторних та натурних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jim Romeo. UAV Design Challenges [Electronic resource] / Jim Romeo// Digital Engineering. - 2016. - № 2091. URL: <http://www.digitaleng.news/de/uav-design-challenges-game-on/>
2. Самохин В. Ф. Экспериментальное исследование источников шумности беспилотного летательного аппарата с винто-кольцевым двигателем в толкающей компоновке / В. Ф. Самохин, С. П. Остроухов, П. А. Мошков // Элект. журн. «Труды МАИ». - 2013. - №70.
3. Клюкин И. И. Акустические измерения в судостроении / И. И. Клюкин, А. Е. Колесников. — Ленинград: «Судостроение», 1968.-403 с.
4. Скребнев Г. К. Комбинированные гидроакустические приемники / Скребнев Г. К. - СПб.: Злмор, 1997.-200 с.
5. Дідковський В.С., Акименко В.Я., Запорожець О.І., Савін В.Г., Токарев В.І. Основи акустичної екології. Навч.посібник - Кіровоград: "Імекс ЛТД", 2002
6. Н.А. Виноградова, Я.І. Лістратов, Є.В. Свиридов. «Розробка прикладного програмного забезпечення в середовищі LabVIEW». Навчальний посібник - М.: Видавництво MEI, 2005.
7. DroneShield [Electronic resource]: [Website]. – 2018 – URL: www.droneshield.com
8. Drone Labs [Electronic resource]: [Website]. – 2017 – URL: <http://www.dronedetector.com>
9. ORELIA [Electronic resource]: [Website]. – 2017 – URL: <http://www.drone-detector.com>
10. Advanced Protection Systems [Electronic resource]: [Website]. – 2015 – URL: <http://www.detectdrones.com>

- 11.Ольшевський В.В. Статистические методы в гидролокации. / Ольшевський В.В. - Л.: Судостроение, 1973
- 12.Применение измерительных систем фирмы Брюль и Къер для измерений акустического шума. Копенгаген:, К.Ларсен и сын, 1971. – 224 с.
- 13.Краткий каталог оборудования для вибрационных и акустических измерений [Electronic resource] / Брюль и Къер// - 2012. URL: <http://www.istcgroup.com/pdf/bruel%20catalog.pdf>
- 14.Сапожков М. А. Электроакустика. Учебник для вузов. М., Связь, 1978. — 272 с. С ил.
- 15.Е.С. Швець, Я.Л. Сичков, І.А.Третьяков, О.В. Коржик. Використання графічного програмування для організації аналізаторів спектру паралельного типу Electronics and communications/Vol. 20,№ 4(87). 2015, С. 89-93.
- 16.Р. Ю. Костюк, А. В. Козак, П. М. Ларін. Розробка мікрофонного тракту для систем повітряної шумопеленгації. X Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2017»/Збірник статей /Vol.10, №5. 2017 С. 27-30.
- 17.Імітаційне моделювання вимірювача інтенсивності звуку в задачах шумопеленгування / А. В.Козак, П. М. Ларін, Р. Ю. Костюк, О. В. Коржик. // Електронна та акустична інженерія. – 2018. – №1. – С. 27 – 33.
- 18.А.В. Козак, П.М. Ларін, Р.Ю. Костюк. Імітаційне моделювання приладу вимірювання інтенсивності звуку та формування просторової вибіркості в повітряному середовищі. X Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2017»/Збірник статей /Vol.10, №9. 2017 С. 46-50.
- 19.Козак А. В. Пристрій виявлення безпілотних літальних апаратів у програмному середовищі LabView / А. В. Козак, П. М. Ларін, Р. Ю. Костюк // XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих

- вчених «Електроніка–2018», 3–5 квітня, 2018 р., Київ, Україна / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», факультет електроніки. – Київ, 2018. – С. 78–81.
20. Ларін П. М. Пристрій пеленгування безпілотних літальних апаратів у програмному середовищі LabView / П. М. Ларін, А. В. Козак, Р. Ю. Костюк // XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка–2018», 3–5 квітня, 2018 р., Київ, Україна / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», факультет електроніки. – Київ, 2018. – С. 74–78.
21. Phantom 3 standard [Electronic resource]: [Website]. – 2015 – URL: <https://www.dji.com/phantom-3-standard/info/>
22. Виявлення малих літальних апаратів по акустичному випромінюванню- прогноз і експеримент/ С.О.Козерук, О.В.Коржик, К.В. Горовий // Електронна та акустична інженерія. – 2018. – №1. – С. 27 – 33.
23. Пристрій виявлення та пеленгування повітряних об'єктів /Дідковський В.С. , Коржик О.В., Горовий К.В. , Козак А.В. , Ларін П.М. , Ляхевич С.В. // XI науково-практичній конференції "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил" , 8–9 листопада, 2018 р., Київ, Україна.
24. Патент Мультиканальна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгації / О. В. Коржик, С. О. Козерук, Р. Ю. Костюк, А. В. Козак П. М. Ларін.

Додатки

Перелік публікацій та тез:

УДК 621.3

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЛАДУ ВИМІРЮВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗВУКУ ТА ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ ВИБІРКОВОСТІ В ПОВІТРЯНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

А.В. Козак, П.М. Ларін, Р.Ю. Костюк

НТУУ «КПІ», Факультет електроніки, Київ, Україна, e-mail: andrekaka1996@gmail.com; IPhilip04@gmail.com; r.ju.kostjuk@gmail.com

В роботі створено програмний код в середовищі програмного продукту LabVIEW, за допомогою якого модулюється ситуація вимірювання інтенсивності широкосмугового звуку в повітрі. Робота трактів повітряного шумопеленгування подана симуляцією елементів прийомного трату та приладів 1 в частині формування просторової вибіркості.

A programmatic code has been created in the software environment LabVIEW in witch we are simulate situation of measuring intensity of broadband sound in mid air. Ways operation of air sound locator is given by the simulation of elements receiving spending and devices type one in part of forming of spatial selectivity.

Ключові слова: інтенсивність, повітряний шумопеленгатор, характеристика направленості.

Key words: *intensity, aerial sound locator, directional characteristics.*

Вступ

В цей час проблема повітряного шумопеленгування широкосмугових шумовипромінюючих об'єктів викликає підвищену цікавість у зв'язку з розвитком парку безпілотних літальних апаратів. Крім того, відомості щодо акустичних характеристик БПЛА достатньо незначні. Якщо відомості щодо конструкції БПЛА є достатньо поширеними[1], то дані щодо шумових характеристик БПЛА практично відсутні. Зауважимо, що відомості про спектральні характеристики шумовипромінення достатньо об'ємно викладені в роботі [2].

Таким чином, базуючись на залучених з роботи [2] спектральних характеристик БПЛА, одним з перспективних напрямків виявлення БПЛА є вимірювання інтенсивності звукового поля в робочому середовищі, при появі вказаної цілі. Ідеологія побудови інтенсиметрів (приладів для вимірювання інтенсивності) не нова, вона достатньо широко представлена в джерелах [3 4 5].

Отже, побудова одного з трактив шумопеленгаційної системи, враховуючи вище наведені роботи, може вестися шляхом залучення сучасних програмних продуктів та методології вимірювання інтенсивності, що на наш погляд має покращити роботу прийомної системи.

При цьому акустична система має бути побудована з урахуванням засобів симуляції при отриманні однонаправлених характеристик направленості. Таким чином, запропонована задача є актуальною, а ціллю роботи є створення блоку симулятивних програм, присвячених задачам формування просторової вибірковості та виявлення за інтенсивністю шумлячого повітряного об'єкту.

Основні структурні схеми та програмні алгоритми

Розв'язок задачі: для збільшення наочності процесів перетворення звукової енергії та формування просторових якостей, на наш погляд вимагає використання об'єктного типу програмування з поточним контролем епюр по виходу використаних образів-пристроїв. Тому в роботі використано середовище інструментального об'єктного пакету LabVIEW.

Ситуативно робота поділялась на дві частини:

Перша — створення симулятора інтенсиметра. При цьому в якості джерела шуму були обрані стандартизовані симулятори сигналу (Simulate Signal Express VI). Алгоритм виконання операцій відповідав структурній схемі залученої з роботи [4] та наведений на рис. 1. Смуги частот роботи джерел, а також спектральні особливості в них, відповідали даним роботи [4].

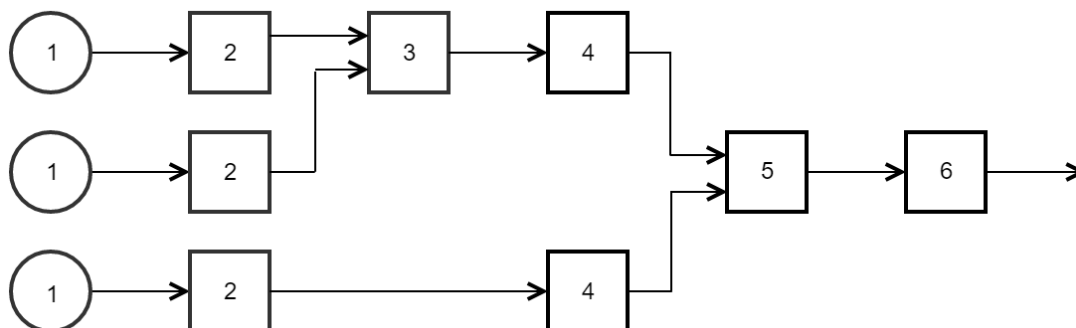


Рис.1. Структурна схема акустичного інтенсиметра

1 - приймачі тиску; 2 - попередні підсилювачі; 3 - зворотно підключений операційний підсилювач;
4 - смугові фільтри; 5 - помножувач; 6 - інтегратор

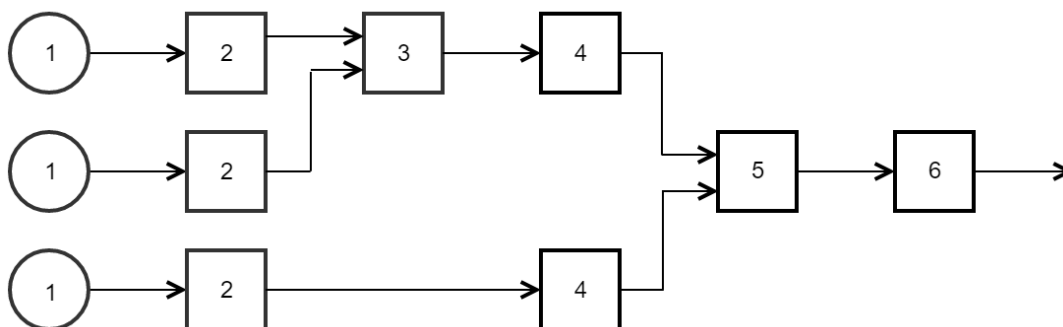


Рис.2. Структурна схема акустичного формувача характеристики направленості

1 - приймачі тиску; 2 - попередні підсилювачі; 3 - зворотно підключений операційний підсилювач;
4 - смугові фільтри; 5 - суматор; 6 - пристрій нормування

Друга — створення програмного продукту формування направлених якостей (отримання однонаправленої ХН кардіоїдного типу) Структурна схема, що лягла в основу програмування, наведена в роботі [6] (див. рис. 2).

Результати програмування у вигляді блоків діаграм наведені відповідно на рис.3 і 4.

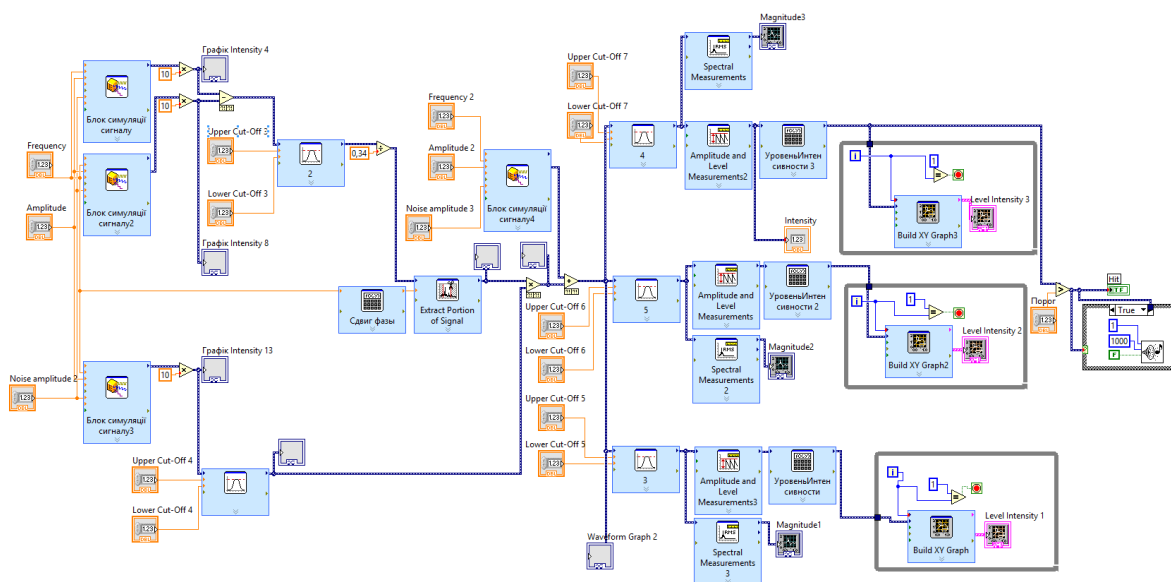


Рис.3. Структурна схема акустичного інтенсиметра в програмному середовищі LabVIEW

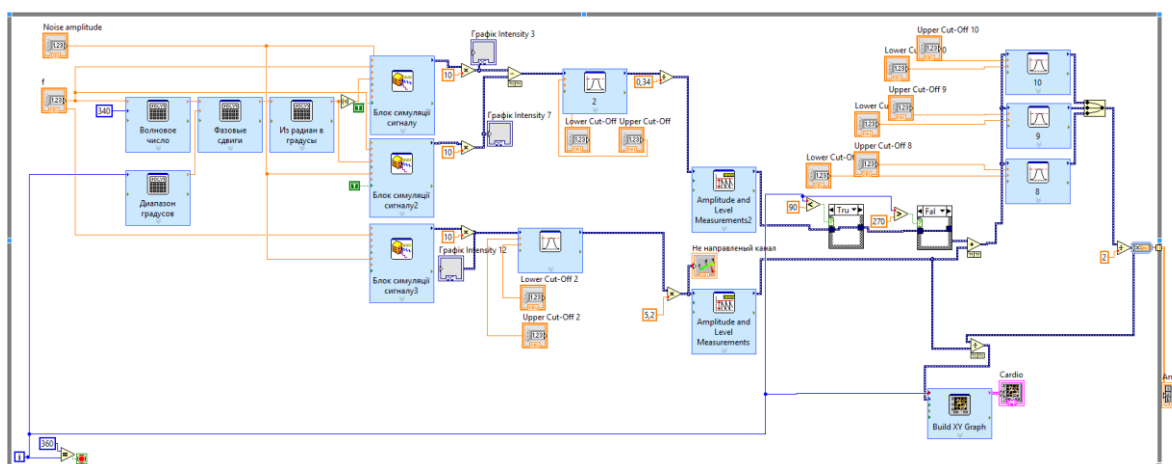


Рис.4. Структурна схема формувача характеристики направленості в програмному середовищі LabVIEW

Стосовно рис.3 і 4 зазначимо, що мають місце такі основні структурні одиниці:

- Simulate Signal Express VI – блок, за допомогою якого був синтезований сигнал синусної форми, спотворений фоновим шумом.
- Amplitude and Level Measurements Express VI – блок вимірювання рівнів сигналу, по амплітуді (лінійний, квадратичний та дельта рівні).

- Bandpass Filter VI – блок-еквівалент смугового фільтру.
- Extract Portion of Signal VI – блок часових затримок для імітації фазообертача.

Гармонійні сигнали, що поступають з блоків симуляції сигналу (Simulate Signal Express VI) на попередній підсилювач, з деяким коефіцієнтом підсилення. Після попереднього підсилення сигнали з першого та другого блоків симуляції сигналу поступають на пристрій віднімання. Цей сигнал одночасно з сигналом із третього блока симуляції подаються на октавні смугові фільтри (Bandpass Filter VI). В подальшому канал один будемо називати зворотнім, а другий прямим.

Для інтенсиметру (рис.3): сигнал у зворотному каналі, після ділення на коефіцієнт відстані між блоками симуляції, подається на фазообертач і множиться на сигнал прямого каналу. Застосовуючи три тритинооктавні фільтри (Bandpass Filter VI), визначається квадратичне значення результату – тобто, інтенсивність. Програмно розрахований рівень інтенсивності, виведено на інтерфейс (Front panel) у вигляді графіку Level Intensity (рис. 5).

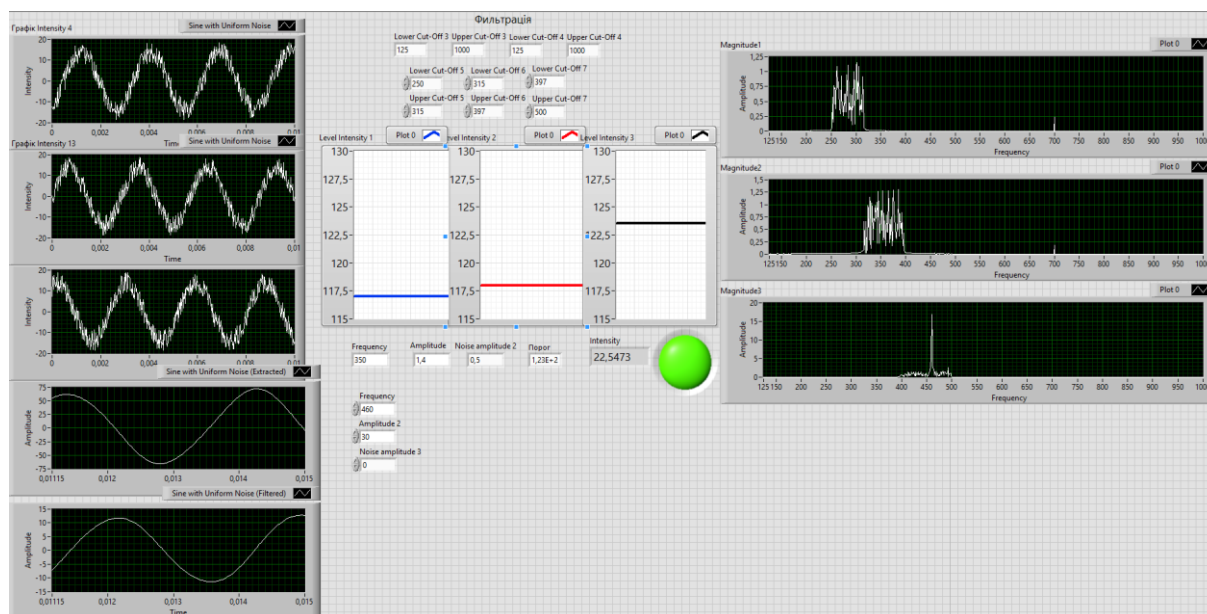


Рис.5. Отриманні результати інтенсиметра

Для формувача ХН (рис.4.): сигнал ділиться на коефіцієнт відстані між блоками симуляції у зворотному каналі та множиться на коефіцієнт узгодження амплітуд у прямому каналі. Отримавши далі RMS застосовуємо три тритинооктавні фільтри (Bandpass Filter VI) та коефіцієнт $\frac{1}{2}$. Нормування результату відбувається по сигналу прямого каналу.

Операція повторюється для кожного кута падіння хвилі за допомогою функції WhileLoop, налаштованої на повтор 360 разів. Результат отриманої ХН виводиться на інтерфейс (Front panel) у вигляді графіку Cardio (рис. 6).

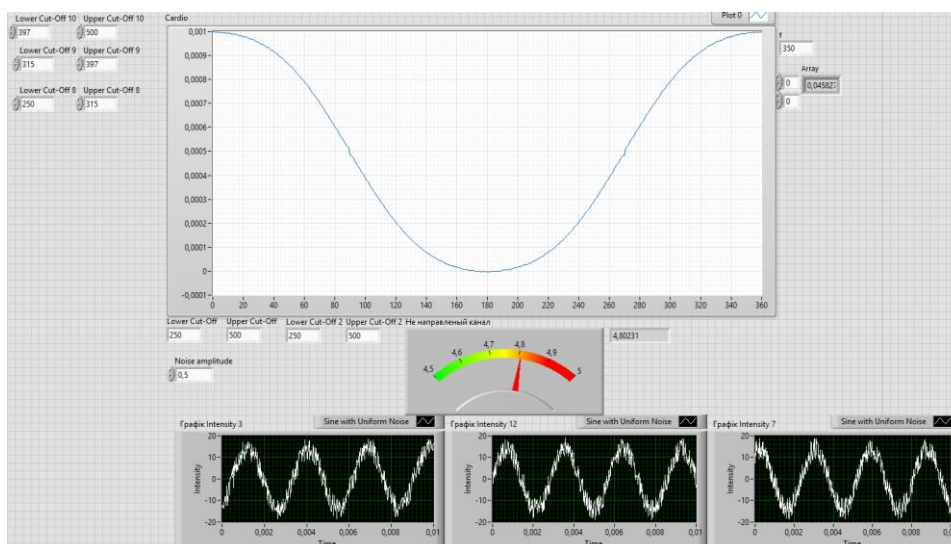


Рис.6. Отриманий результат ХН виду кардіоїда

Висновки

В результаті виконання роботи отримано наступні результати:

1. Симулятор тракту визначення інтенсивності, який є фактично трактом виявлення повітряного об'єкту за інтенсивністю.
2. Визначено структуру та отримано алгоритм роботи пристрою формування однонаправленої ХН для трьохелементної системи приймачів градієнтного типу.

Література

25. Jim Romeo. UAV Design Challenges [Electronic resource] / Jim Romeo// Digital Engineering. - 2016. - № 2091. URL: <http://www.digitaleng.news/de/uav-design-challenges-game-on/>
26. Самохин В. Ф. Экспериментальное исследование источников шумности беспилотного летательного аппарата с винто-кольцевым двигателем в толкающей компоновке / В. Ф. Самохин, С. П. Остроухов, П. А. Мошков // Элект. журн. «Труды МАИ». - 2013. - №70.
27. Клюкин И. И. Акустические измерения в судостроении / И. И. Клюкин, А. Е. Колесников. — Ленинград: «Судостроение», 1968.-403 с
28. Скребнев Г. К. Комбинированные гидроакустические приемники / Скребнев Г. К. - СПб.: Злмор, 1997.-200 с.
29. Дідковський В.С., Акименко В.Я., Запорожець О.І., Савін В.Г., Токарев В.І. Основи акустичної екології. Навч.посібник - Кіровоград: "Імекс ЛТД", 2002
30. Сапожков М. А. *Электроакустика*. Учебник для вузов. М., Связь, 1978. — 272 с. С ил.

Рекомендовано до публікації: д.т.н., проф. Коржик О. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Факультет електроніки, кафедра ААЕ, Київ, Україна

РОЗРОБКА МІКРОФОННОГО ТРАКТУ ДЛЯ СИСТЕМ ПОВІТРЯНОЇ ШУМОПЕЛЕНГАЦІЇ

Р. Ю. Костюк, А. В. Козак, П. М. Ларін

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Факультет електроніки, Київ, Україна, e-mail:
r.ju.kostjuk@gmail.com

Розглянуто можливість практичної реалізації певних вузлів повітряних засобів виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в частині отримання просторової вибіркової широкопasmової прийомної акустичної антени. Розроблено структурну схему мікрофонного тракту та запропоновано його технічну реалізацію.

Considered the possibility of practical implementation of the certain units of aerial sound location means for unmanned aerial vehicle (UAV) detection in terms of obtaining a spatial selectivity of broadband receiving acoustic antenna. A block diagram of the microphone path has been developed and a technical implementation has been proposed.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, повітряний шумопеленгатор, кардіоїда.

Key words: *unmanned aerial vehicle, aerial sound locator, cardioid.*

Вступ

Враховуючи сучасні темпи розвитку у розробці та впровадженні у обіг безпілотних літальних апаратів (так званих дронів) у широкому спектрі застосувань, актуальною є задача виявлення даних літальних апаратів. На сьогодні існують системи, які ведуть спостереження за БПЛА та виконують функції їх відслідковування [1].

Враховуючи вище викладене, виникає необхідність у створенні системи повітряної шумопеленгації, яка забезпечить можливість моніторингу простору та відслідковування БПЛА шляхом застосування акустичних методів пасивної локації. Головним пристроєм такої системи є прийомна акустична антена зі спрямованістю, що реалізована у широкій смузі частот та для отримання якої можливо застосувати методи електричного комбінування всенаправлених приймачів тиску [2]. На основі даних, представлених у роботі [3], було проведено теоретичні розрахунки, розроблено структурну схему приладу та запропоновано його схемотехнічну реалізацію.

Акустичні характеристики приладу

Силова установка дрону, що переміщується, створює достатній рівень шуму (близько 104..106 дБ [4]), який чутно навіть людським вухом. Проте для однозначного визначення координат дрону, необхідно застосовувати спрямовані прийомні акустичні антени, які складаються з лінійки однонаправлених модулів. Акустичні модулі у свою чергу формуються із всенаправлених приймачів тиску, що електрично комбіновані (рис. 1).

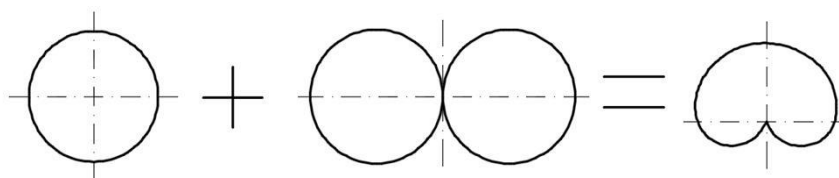


Рис. 1. Формування однонаправленої просторової характеристики прийому

Процес створення спрямованості групою приймачів оснований на фазових співвідношеннях у прийнятих акустичних хвилях, що сформовані геометрією антени, а також електричним внесенням фазово-амплітудного регулювання у прийомні канали з різними характеристиками направленості. Прилад, що розглядається, має вирішити поставлену задачу отримання односпрямованої характеристики направленості у вигляді кардіоїди з використанням електричного комбінування двох приймачів тиску (рис. 2).

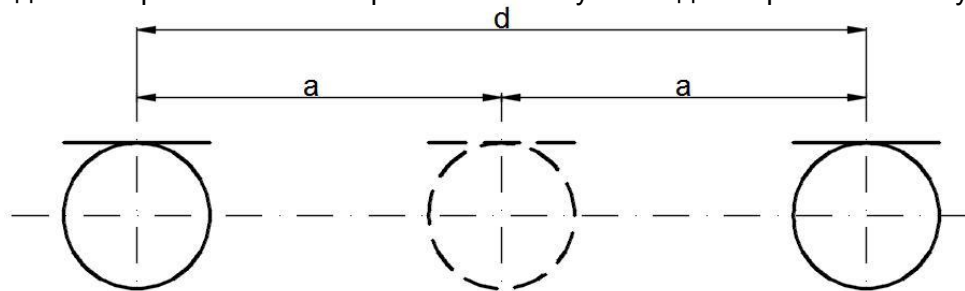


Рис. 2. Акустичний модуль, представлений двома приймачами тиску

Зокрема, у такому акустичному модулі формуванню підлягають два електричні канали: канал градієнту тиску з характеристикою направленості дипольного типу та канал всенаправленого прийому. Причому за фазовий центр антени обирається уявний приймач, який знаходиться на рівних відстанях між реальними приймачами тиску. Канал градієнту тиску формується створенням різниці миттєвих значень електричних сигналів від рознесених у просторі на відстані $d/2$ а не більше чверті довжини хвилі приймачів тиску (рис. 3, а). Канал всенаправленого прийому може бути реалізовано електричним додаванням тих самих сигналів (рис. 3, б). Проте слід зауважити, що при певних хвильових розмірах, канал суми створює конкретну направленість, але її можна нівелювати величиною просторового рознесення приймачів тиску (для обраного частотного діапазону).

Якщо електрично додати сигнали з виходів цих двох каналів та пронормувати їх із урахуванням постійного множника $1/2$, то можна отримати характеристику направленості R кардіоїдного типу, що визначається співвідношенням:

$$R(\vartheta) = \frac{1 + \cos \vartheta}{2}.$$

Важливою проблемою стає відмінність амплітудних та фазових співвідношень між сигналами у каналах градієнту тиску та всенаправленого прийому, що явно видно з наступного виразу (2) для вихідного сигналу $u_{вих}$:

$$u_{вих} = \frac{u_{\Delta}(r,t) + u_{\Sigma}(r,t)}{2} = u_0(r,t) \left(\frac{2 + kd \cdot e^{-j\frac{\pi}{2}} \cdot \cos \vartheta}{2} \right),$$

де u_{Δ}, t – сигнал каналу різниці, u_{Σ}, t – сигнал каналу суми, u_0, r, t – сигнал з уявного приймача, що розміщений у фазовому центрі антени, k – хвильове число.

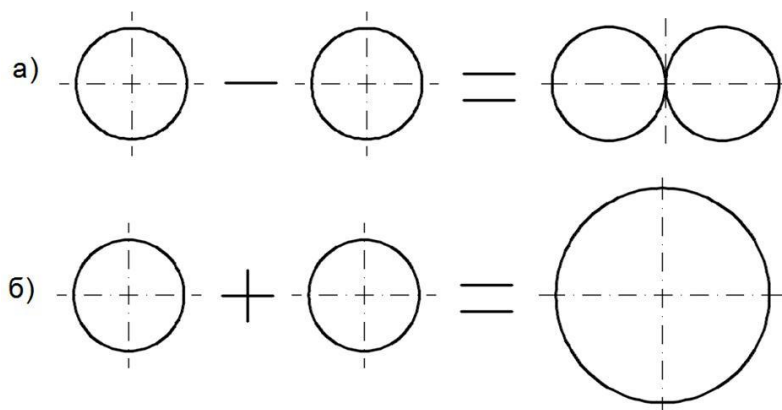


Рис. 3. Методи формування направлено (а) та всенаправленого (б) прийому

При цьому реалізувати співвідношення (1) за заданих хвильових розмірів стає неможливо і доводиться вносити амплітудно-фазову корекцію електричним шляхом. Відмінність у амплітуді сигналів залежить від хвильових розмірів антени, тому постає можливим розрахувати коефіцієнти підсилення, які необхідно вносити для нормування сигналів до однакового рівня. Проведені теоретичні розрахунки показують, що для компенсації фазового зсуву між каналами необхідно вводити затримку, близьку до 90 градусів.

Принцип роботи приладу за структурною схемою

На рис. 4 представлено структурну схему акустичного модуля для формування

кардіоїдної характеристики направленості.

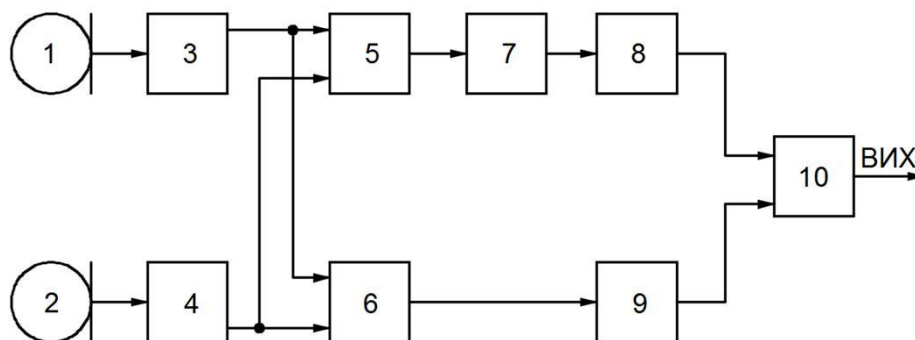


Рис. 4. Структурна схема мікрофонного тракту шумопеленгаторного модуля

Приймачі 1 та 2 розташовані у полі акустичного впливу і на них діє тиск, створюваний джерелом шуму. Оскільки їхня чутливість (близько 4 6 мВ/Па) та рівень сигналу є невеликими, то для забезпечення подальшої обробки сигналів їх необхідно підсилити. Для цього використано підсилювачі 3 та 4, які конструктивно побудовані на основі операційних підсилювачів з малим власним рівнем шумів. З отриманих підсилених сигналів формують два канали – суми та різниці – шляхом введення диференційного підсилювача 5 та суматора 6. Суматор вводить також амплітудну компенсацію шляхом ділення результату підсумовування на

Підсилювач 7 з коефіцієнтом підсилення $0\ K$ проводить більш точне налаштування амплітудного нормування каналів шляхом розрахунку конкретного значення коефіцієнта підсилення з урахуванням хвильових розмірів антени kd . Блоки 8 та 9 формують фазовий механізм компенсації, тобто вносять фазові затримки певної величини.

Суматор 10 формує вихідний сигнал, величина якого у залежності від кута напрямку приходу акустичного сигналу описується співвідношенням (1).

Висновки

Розроблено структурну схему приладу з урахуванням компенсації амплітудних та фазових розбіжностей між каналами направленного та всенаправленного прийому.

Розроблено схемотехнічну реалізацію усіх вузлів та блоків приладу з урахуванням обраного частотного діапазону 300..500 Гц (на основі даних з [4]).

При проектуванні було використано відкриті джерела інформації.

Література

Baraniuk Ch. The no-drone zone: How to stop UAVs spying on us from above [Electronic resource] / Ch. Baraniuk // New Scientist. – 2015. – № 3019. URL: <https://www.newscientist.com/article/dn27429-the-no-drone-zone-how-to-stop-uavs-spying-on-us-from-above/>

Скребнев Г. К. Комбинированные гидроакустические приемники / Скребнев Г. К. – СПб.: Элмор, 1997. – 200 с.

Клюкин И. И. Акустические измерения в судостроении / И. И. Клюкин, А. Е. Колесников. – Ленинград: «Судостроение», 1968. – 403 с.

Самохин В. Ф. Экспериментальное исследование источников шумности беспилотного летательного аппарата с винто-кольцевым двигателем в толкающей компоновке / В. Ф. Самохин, С. П. Остроухов, П. А. Мошков // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2013. –

№ 70.

Рекомендовано до публікації: д.т.н., проф. Коржик О. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Факультет електроніки, кафедра ААЕ, Київ, Україна

УДК 534.3

А.В.Козак, П.М.Ларін, Р.Ю.Костюк, О.В. Коржик, д.- р. техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»,

вул. Політехнічна, 16, корпус 12, м.Київ, 03056, Україна.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИМІРЮВАЧА ІНТЕНСИВНОСТІ ЗВУКУ В ЗАДАЧАХ ШУМОПЕЛЕНГУВАННЯ

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗВУКА В ЗАДАЧАХ ШУМОПЕЛЕНГАЦИИ

DESIGNING OF SOUND INTENSITY MEASURING SIMULATOR FOR BEARING TASKS

Робота присвячена питанням імітаційного моделювання пристроїв і методів акустичних вимірювань. Розглянуто задачу вимірювання інтенсивності звуку, як однієї з важливіших характеристик акустичного поля, шляхом використання лише приймачів тиску. Відповідно до реалізації алгоритму визначення інтенсивності, моделювання пристрою вимірювання виконано на основі адитивних та мультиплікативних операцій. За допомогою інструментального лабораторного пакету програм Lab View отримано програмну модель у вигляді симулятора інтенсиметра та пристрою виявлення рухомих шумовипромінюючих повітряних або підводних об'єктів.

Ключові слова: *повітряний шумопеленгатор; інтенсивність; характеристика направленості; прийомник градієнту тиску; фаза; амплітуда.*

Работа посвящена вопросам имитационного моделирования устройств и методов акустических измерений. Рассмотрена задача измерения интенсивности звука, как одной из важнейших характеристик акустического поля, путем использования только приемников давления. Согласно реализации алгоритма определения интенсивности, моделирование устройства измерения выполнены на основе аддитивных и мультипликативных операций. С помощью инструментального лабораторного пакета программ Lab View получено программную модель в виде симулятора интенсиметра и устройства обнаружения движущихся шумовизлучающих воздушных или подводных объектов.

Ключевые слова: *воздушный шумопеленгаторы; интенсивность; характеристика направленности; приемник градиента давления; фаза; амплитуда.*

Work is devoted to problems of simulation devices and methods of acoustic measurements. The problem of measuring the sound intensity as one of the most important characteristics of the sound field by using only pressure receivers. According to the algorithm determining the intensity measurement device simulation performed based additive and multiplicative operations. With instrumental laboratory Lab View software model received intensy-metr simulator software and mobile device detection air or underwater noise-radiation objects.

The main reason for using Lab View is that this tool-graphic package, oriented to object programming, essentially provides the construction of an algorithm for the desired procedure for the device to be implemented. At the same time, the user interface is simple and accessible, it is possible to use a wide range of input data and a variety of indicator and recording devices. In this case, the program body in the LabVIEW environment is created in the form of a graphical diagram reflecting the sequence of mathematical operations that determine the operating principle of the device. Thus, the chain: "mathematical expression - block diagram - program" is practically realized by objects of the program algorithm.

A simulator has been developed that allows not only to measure the intensity of acoustic perturbation of the working medium in true and relative units, but also to ensure the operation of the device for detecting a useful signal against the background of isotropic sound noise represented by white noise. Simulation of the receiving acoustic device was carried out on the basis of a model combining the capabilities of pressure receivers and receivers of oscillation speed. In this case, the number of pressure receptacles can vary - from two to three. In the topic there is a variant of the receiving device, consisting of three pressure receptacles.

The resulting software algorithm, formally, contains four groups of device-tools, namely:

- devices for simulating input signals;
- devices for the formation of signals of difference, sum and phase shift;
- filtering devices that provide the formation of a working frequency band and filtering devices that realize the principle of the parity-type spectrum analyzer;
- group of indicators.

The obtained results are proposed to be considered as the initial ones for the creation of simulators of air and underwater sound-direction finding on the basis of combined receivers.

Keywords: *aerial sound locator; intensity; directional pattern; gradient receivers of pressure; phase; amplitude.*

Вступ

На сьогодні проблема повітряного та підводного шумопеленгування широкосмугових шумовипромінюючих об'єктів викликає підвищену цікавість у зв'язку з розвитком парку безпілотних повітряних та підводних дистанційно керованих апаратів [1, 2]. Проте, відомості про акустичні характеристики таких пристроїв достатньо незначні. Зауважимо, що дані про спектральні характеристики шумовипромінювання повітряних об'єктів достатньо детально викладено в роботі [3].

Однією з найбільш ємних характеристик звукового поля є інтенсивність звуку, що для гармонійних процесів подається як середнє за період значення густини потоку потужності акустичного збурення робочого середовища [4]. Крім того, навіть короточасне підвищення потужності акустичного процесу само по собі може бути подано як одна з ознак виявлення шуканого об'єкта. Однак, збільшення інтегрального рівня потужності процесу може бути надто короточасним, щоби його можна було б вважати вичерпно надійним чинником прийняття рішення щодо виявлення об'єкту. Тому, сама ситуація вимірювання інтенсивності має бути доповнена певними засобами трактів

виявлення, а саме – елементами широкосмугової частотної фільтрації [5]. Таким чином, керуючись розумінням того, що підводні та повітряні апарати при русі утворюють шумоподібний сигнал, який за характером є близьким до звукоряду, та використовуючи (наприклад) відомості про спектральні характеристики повітряного безпілотного апарату з роботи [3], для найбільш інформативної ділянки спектру та умов впливу ізотропної перешкоди, можна побудувати пристрій, який може бути задіяний як для розв'язку задач вимірювання, так і для виявлення вказаних об'єктів. В зв'язку з цим, задача створення віртуальних інструментів для вимірювання основних характеристик акустичного поля та виявлення автономних рухомих об'єктів є актуальною і має розглядатися як крок до уніфікації та наочності шляхів апаратно-програмної реалізації засобів підводного та повітряного шумопеленгування. Це, власне, і визначає мету роботи.

Основна частина

Алгоритм визначення інтенсивності за допомогою трьох приймачів тиску

Ідеологія побудови інтенсиметрів (приладів для вимірювання інтенсивності) не нова, вона достатньо широко представлена в джерелах [6, 7]. Зауважимо, що миттєве значення густини потоку потужності визначається співвідношенням:

$$W_n(t) = p(t)v_n(t), \quad (1)$$

де $p(t)$, $v_n(t)$ - миттєві значення тиску та коливальної швидкості в робочому середовищі при поширенні хвилі в напрямку вектор n .

Середній за період T потік потужності визначаємо як інтенсивність I_n , для якої справедливим буде вираз:

$$I_n = \langle W_n \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T p(t)v_n(t)dt. \quad (2)$$

Якщо в якості приймальної системи обрати сукупність трьох ненаправлених мікрофонів (гідрофонів), то спосіб використання їх вихідних електричних напруг (відповідно до адитивних та мультиплікативних операцій) - забезпечить формування просторових каналів, з яких:

-перший канал – канал тиску p ;

-другий канал – канал градієнту тиску $\text{grad } p$.

Використовуючи відоме [4] співвідношення, що витікає з рівняння Ейлера та пов'язує тиск з коливальною швидкістю, можна записати:

$$v_n = \frac{1}{i\omega\rho} \frac{\partial p}{\partial r} = -\text{grad} \left[\frac{1}{\rho} \int_0^t p dt \right], \quad (3)$$

де ω - колова частота, ρ - густина середовища, r - узагальнена координата.

За наявності двох ідентичних ненаправлених мікрофонів, які розміщені на малій відстані один від одного (меншій за половину довжини хвилі на обраній частоті, $r \leq \frac{\lambda}{2}$), градієнт звукового тиску можна знайти на підставі наближеної формули

$$\frac{\partial p(t)}{\partial r} = \frac{p_1(t) - p_2(t)}{\Delta r} = \frac{\Delta p(t)}{\Delta r}, \quad (4)$$

де $p_1(t), p_2(t)$ - тиски на мікрофонах пари 1 - 2. Внаслідок використання формули (4) дістаємо скінченнорізницьову апроксимацію функції, яка відповідає $\text{grad } p$. Співвідношення (2)-(4) дають змогу оцінити коливальну швидкість у точці, що збігається з акустичним центром системи двох мікрофонів і розташована посередині між ними:

$$v(t) = -\frac{1}{\Delta r \rho} \int [p_2(t) - p_1(t)] dt \quad (5)$$

Тиск в цій точці наближено запишемо як:

$$p_3(t) \approx \frac{p_1(t) + p_2(t)}{2}. \quad (6)$$

Тоді з урахуванням формул (2)-(6) шукана інтенсивність звука визначається як

$$I_n = \frac{1}{2\Delta r \rho T} \int [p_1(t) + p_2(t)] \left\{ \int [p_2(t) - p_1(t)] dt \right\} dt \quad (7)$$

Зауважимо, що у випадку використання трьох мікрофонів виникає можливість виключення операції обчислення тиску для центральної точки за формулою (6). При цьому формула (7) трансформується до виду:

$$I_n = \frac{1}{\Delta r \rho T} \int p_3(t) \left\{ \int [p_2(t) - p_1(t)] dt \right\} dt, \quad (8)$$

де $p_3(t)$ - є тиском на центральному (третьому) мікрофоні.

Структурна схема та імітаційний алгоритм

Отже, вирази (7), (8) по суті визначають алгоритм побудови апаратного або імітаційного втілення пристрою для вимірювання інтенсивності. Проте, цей алгоритм має бути суттєво доповнено в частині:

- приведення градієнту тиску до коливальної швидкості шляхом введення фазового зсуву в каналі різниці на 90° ;
- використання гребінки смугових фільтрів як елементу спектроаналізатора паралельного типу.

Відповідно до (8) та вказаних доповнень, на рис.1 наведено схему віртуального вимірювача інтенсивності.

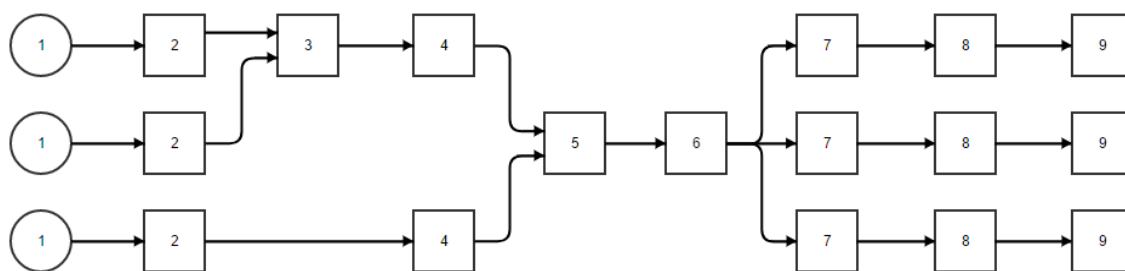


Рис. 1 Структурна схема пристрою вимірювання інтенсивності

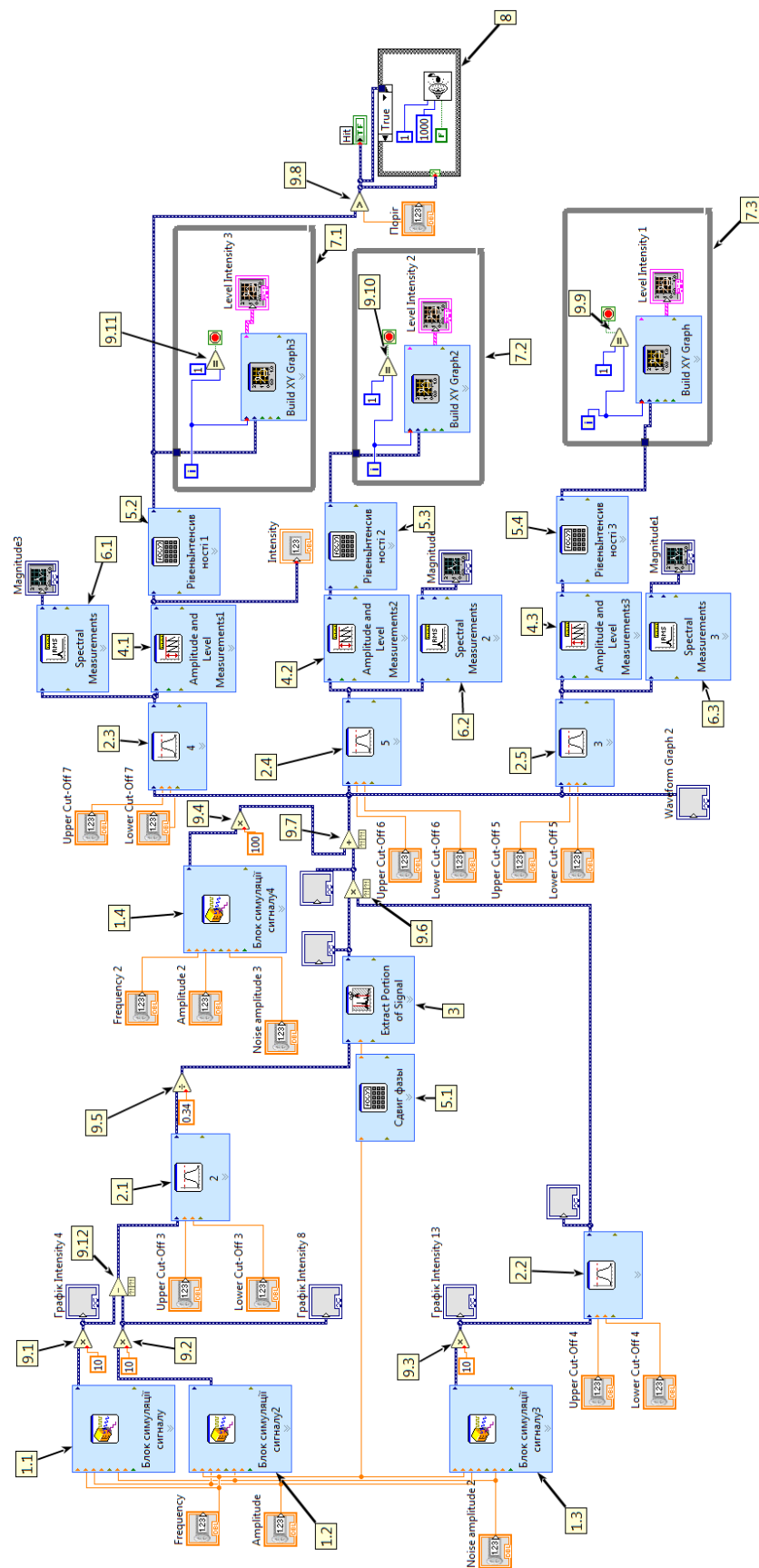
1 – приймачі тиску; 2 – попередні підсилювачі; 3 – зворотно підключений суматор; 4 – широкосмугові фільтри; 5 – помножувач;

6 – інтегратор, 7 – третинооктавні широкосмугові фільтри,

8 – квадратичний детектор, 9 – індикатори.

В якості середовища програмування було обрано середовище лабораторно-інструментального пакету LabView. Програма вимірювань наведена на рис. 2 та містить чотири основних групи пристроїв-інструментів відповідно до положень роботи [8, 9], а саме:

- пристрої симуляції;
- пристрої формування сигналів різниці, суми та фазового зсуву;
- пристрій паралельної фільтрації;
- група індикаторів.



Так, відповідно до позначень алгоритму, з панелі користувача (Front Panel) на блоки симуляції сигналу 1.1 - 1.3 видаються задані користувачем значення параметрів вхідних сигналів суміші «сигнал + шум». Гармонійні сигнали заданої амплітуди та частоти, поступають з блоків симуляції сигналу (Simulate Signal Express VI) на попередні підсилювачі 9.1-9.3, з деяким коефіцієнтом підсилення. Після попереднього підсилення сигнали з блоків 1.1 та 1.2 пристроїв симуляції поступають на диференційний підсилювач, що виконує віднімання 9.12 (канал різниці). Цей сигнал одночасно з сигналом із блока 1.3 симуляції (прямий канал) подаються на октавні смугові фільтри 2.1 та 2.2 (Bandpass Filter VI), інформація про смуги яких задається з панелі користувача (Front Panel). Вказані фільтруючі пристрої забезпечують початкову частотну селекцію, формуючи загальний частотний діапазон досліджень.

Після фільтрації в блоці 2.1 сигнал подається на блок 9.5, що імітує фазовий набіг для мікрофонної бази, що складається з мікрофонів 1 та 2 (блоки 1.1 та 1.2).

З виходу блоку 9.5, що імітує базу, сигнал подається на фазообертач блок 3 (Extract Portion

of Signal VI), кут повороту фази якого залежить від вхідної частоти та результатів обробки блоком 5.1, що реалізується за певною формулою.

В результаті, перемноживши сигнали прямого каналу та каналу різниці за допомогою блоку 9.6, добуток подається на суматор 9.7, за допомогою якого вводиться завада (білий шум) з блоку симуляції сигналу 1.4, інформація про яку також задається користувачем. Сигнал завади з 1.4 попередньо підсилюється в блоці 9.4.

Застосовуючи три тритинооктавні фільтри 2.3 - 2.5 (Bandpass Filter VI), дані про смуги яких задаються з панелі користувача (Front Panel), алгоритм передбачає використання принципів спектрального аналізу паралельного типу. Для візуалізації та перевірки роботи смугових фільтрів наведено їх спектрограми з використанням блоків 6.1 - 6.3 (рис 3).

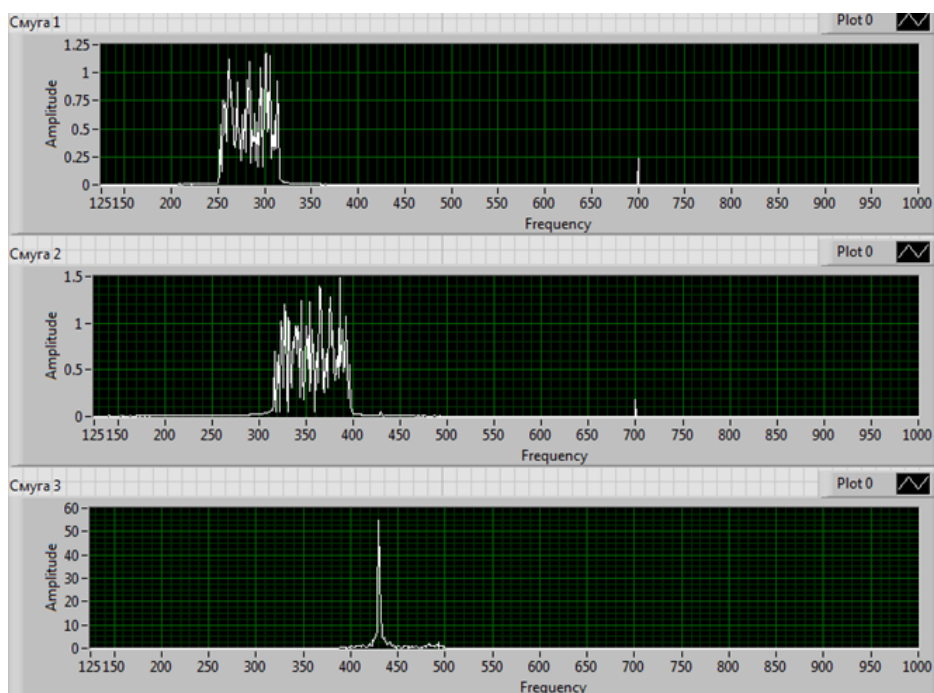


Рис. 3 Графіки спектрів шумового процесу («сигнал+шум») на виходах трьох частотних каналів

Після операцій спектрального аналізу обчислюються середньоквадратичні значення напруг сигналів (блоки 4.1 - 4.3, (Amplitude and Level Measurements Express VI), що відповідає шуканій величини інтенсивності. У подальшому отримане значення інтенсивності перераховується до рівня інтенсивності по відомим формулам переходу:

$$L_{\text{дБ}} = 10 \lg \left(\frac{I_n}{I_0} \right), \text{ де } I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2. \quad (9)$$

Цей перерахунок забезпечується блоками 5.2 - 5.4, а візуалізація результатів - блоками 7.1 - 7.3. Робота блоків полягає у формуванні компактного індикатора, для комфортного сприйняття інформації.

Результати вимірювань рівня інтенсивності та спектрограми процесу «сигнал + шум» по виходах трьох частотних каналів – наведено на рис. 4.

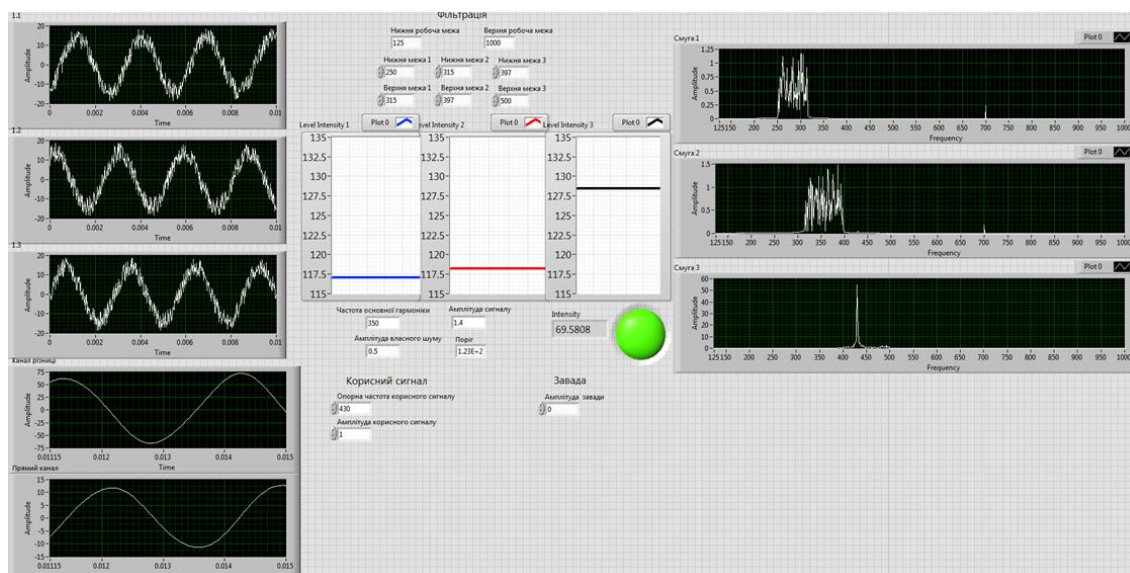


Рис. 4 Результати вимірювань рівня інтенсивності та спектрограми процесу «сигнал+шум»

На блоках графічного відображення 1.1 - 1.3 представлені вхідні сигнали, що дає можливість оцінити їх форму, амплітуду та фазову відмінність. На виходах блоків 1.1 - 1.3 сигнали з різною фазою. Індикатори Level Intensity 1 - 3 є пристроями відображення результату програми. На кожному з графічних блоків показано значення рівня інтенсивності в дБ. Різниця значень між 1 і 2 блоками індикації енергетично підтверджує правильність роботи фільтрів - чим більша смуга, тим більший рівень інтенсивності в ній, при однакових вхідних умовах. В той же час значення рівня інтенсивності на блоці індикації Level Intensity 3 суттєво відрізняється від значень на блоках індикації Level Intensity 1 та 2 через те, що він є сигнальним і в цьому можна впевнитись на блоці графічного відображення «Смуга 3». Під поняттям сигнальний мається на увазі, що корисний сигнал лежить в одній із трьох частотних смуг. У даному випадку фіксується сигнал у третій смузі, тому ця смуга є сигнальною. Сигнальна лампа спрацювала, бо значення рівня інтенсивності в сигнальній смузі перевищило значення порогу. Окрім того, в результаті було отримано реальне значення інтенсивності.

На завершальному етапі результат вимірювання рівня інтенсивності подається на схему сигналізації, блок 8. Після задання на панелі користувача (Front Panel) певного порогу за допомогою блоку вводу числової інформації, відбувається перевірка умови перевищення значення порогу за допомогою блоку компарації 9.8 [8, 9]. Таким чином відбувається розв'язок задач вимірювання і виявлення шуканих об'єктів.

Висновки

В результаті моделювання за допомогою програмного пакету LabView для прийомного модуля з трьох (або двох) дискретних перетворювачів тиску:

- розроблено симулятор пристрою визначення інтенсивності;
- показано можливість застосування розробленого симулятора для розв'язання задач виявлення повітряних та підводних автономних об'єктів.

References

1. J. Romeo, "UAV Design Challenges," *digitaleng.news*, June. 1, 2016. [Online]. Available: <http://www.digitaleng.news/de/uav-design-challenges-game-on>. [Accessed June. 1, 2016].
2. F.A. Azis, M. S. M. Aras, M.Z.A. Rashid, M.N. Othman, S.S. Abdullah, "Problem Identification for Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV)," *Procedia Engineering*, vol 41, June.2012. [Online serial]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812026112>. [Accessed June. 1, 2012].
3. Samohin V. F. "Experimental study of noise sources of an unmanned aerial vehicle with a screw-ring propulsor in a pushing arrangement", *Elect. Journal. «Proceedings of MAY»*, V. F. Samohin, S. P. Ostrouhov, P. A. Moshkov no. 70, 2013 (Rus)
4. Grinchenko V. T., "Basics of Acoustics: Textbook" (Authorized translation, with additions and changes), V. T. Grinchenko, I. V. Vovk, V. T. Matsyipura, Eds. Kiyv: IGM NANU, 2009, P. 867. (Ukr)
5. Didkovskiy V.S., Korzhik O.V., Leyko O.G., "Noise and vibration. Textbook," Eds. Kiyv: Imeks LTD, 2010, P.334. (Ukr)
6. Skrebnev G. K., "Combined sonar receivers," Eds. Kiyv-Leningrad,ZImor, 1997, P.200. (Rus)
7. Didkovskiy V.S., Akimenko V.Ya., Zaporozhets O.I., SavIn V.G., Tokarev V.I. "Fundamentals of acoustic ecology: Education manual," Eds. Kirovograd, Imeks LTD, 2002, P.515. (Ukr)
8. Kozak A.V., LarIn P.M., Kostyuk R.Y., "Simulation of sound intensity measurement device and forming spatial selectivity in the air," *X International Scientific Conference of Young Scientists "Electronics-2017"*, vol.10, no. 9, pp. 46-50, 2017. (Ukr)
9. Kostyuk R. Y., Kozak A. V., LarIn P. M., "Microphone path development for air proofing systems bearing," *X International Scientific Conference of Young Scientists "Electronics-2017"*, vol.10, no. 5. pp. 27-30, 2017. (Ukr)

УДК 621.3

ПРИСТРІЙ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

А.В. Козак, П.М. Ларін, Р.Ю. Костюк

НТУУ «КПІ», Факультет електроніки, Київ, Україна, e-mail: andreka1996@gmail.com;
IPhilip04@gmail.com; r.ju.kostjuk@gmail.com

На сьогоднішній день пристрої акустичного виявлення повітряних рухомих об'єктів утворюють новий напрямок використання окремих засобів протиповітряної оборони та представляють собою новий клас акустичних шумопеленгаційних систем. Практична реалізація вказаних систем має базуватися на сучасному програмному забезпеченні, що може використовувати принципи об'єктного програмування. В запропонованій роботі за допомогою інструментального лабораторного пакету LabVIEW отримано програмну модель системи виявлення безпілотних літальних апаратів за акустичним полем.

Nowadays, devices for acoustic detection of airborne objects form a new direction for the use of individual air defense assets and represent a new class of acoustic noise isolation systems. The practical implementation of these systems should be based on modern software that can use the principles of object programming. In the proposed work, with the help of LabVIEW, was obtained a software model of the unmanned aerial vehicle detection system for the acoustic field was obtained.

Ключові слова: *виявлення, взаємний спектр, інтенсивність.*

Key words: *detection, mutual spectrum, intensity.*

Вступ

На сьогодні проблема виявлення широкосмугових шумовипромінюючих об'єктів викликає підвищену цікавість у зв'язку з розвитком парку безпілотних повітряних та підводних дистанційно керованих апаратів. [1] Проте, відомості про акустичні характеристики таких пристроїв достатньо незначні. Зауважимо, що дані про спектральні характеристики шумовипромінення повітряних об'єктів достатньо детально викладено в роботі. [2]

Таким чином, базуючись на залучених з роботи [2] спектральних характеристик безпілотних літальних апаратів (БПЛА), одним з перспективних напрямків виявлення БПЛА є визначення взаємного спектру та вимірювання інтенсивності звукового поля в робочому середовищі, при появі вказаної цілі.

В зв'язку з цим, задача створення віртуальних інструментів для вимірювання основних характеристик акустичного поля та виявлення автономних рухомих об'єктів є актуальною і має розглядатися як крок до уніфікації та наочності шляхів апаратно-програмної реалізації засобів підводного та повітряного виявлення. Це, власне, і визначає мету роботи.

Основні програмно-технічні принципи створення системи виявлення повітряних об'єктів за акустичним полем

Пристрій реалізовано з використанням лінійної дискретної акустичної антени яка забезпечує прийом акустичних сигналів, пристрою спряження (система АЦП) та програм обробки інформації на основі пакету LabView на персональному комп'ютері (ПК). Антена забезпечує огляд деякого просторового робочого сектора шляхом механічного сканування.

ПК містить програмне забезпечення, створене в середовищі LabView, що реалізує обробку даних та відображення інформації. Ідеологія полягає у використанні трьох методів виявлення: вузькосмугового спектру (FFT) (1), інтенсивності (2) та взаємного спектру (3).

$$X_1(f) = \int_0^T x_1(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt, \quad X_2(f) = \int_0^T x_2(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt, \quad (1)$$

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) v(t) dt, \quad (2)$$

$$G_{xy}(t) = 2 \cdot X_1^*(t) \cdot X_2(t) = C_{xy}(t) + iQ_{xy}(t). \quad (3)$$

Використання таких дублюючих принципів виявлення по-перше базуються на реєстрації проявлення особливостей акустичного поля та мають підвищувати надійність (Рис.1.). [3]

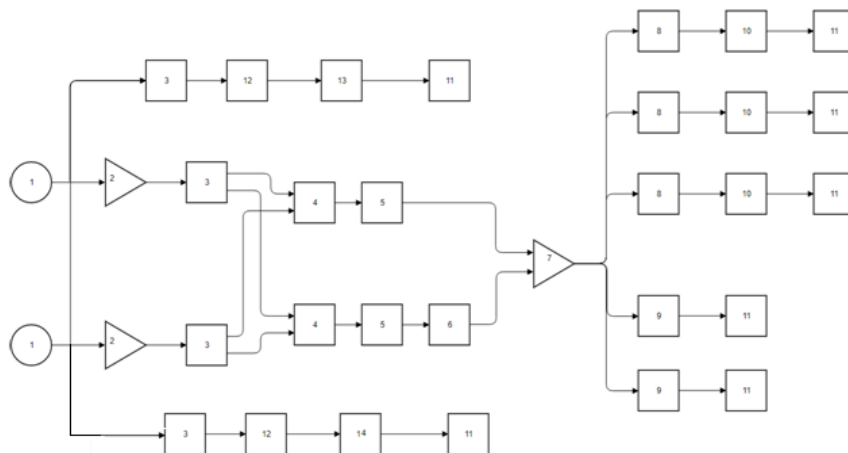


Рис. 1 Структурна схема пристрою виявлення безпілотних літальних апаратів

Де: 1 – приймачі тиску; 2 – попередні підсилювачі; 3 – широкосмугові фільтри; 4 – зворотно підключений суматор; 5 – коефіцієнти; 6 – фазоінвертор; 7 – помножувач; 8 – третинооктавні широкосмугові фільтри; 9 – напівоктавні фільтри; 10 – блоки переходу від значення інтенсивності до рівня інтенсивності; 11 – блоки індикації; 12 – блок FFT; 13 – порогова схема; 14 – блок спектральної кореляційної функції.

Результати створення системи виявлення повітряних об'єктів за акустичним полем

Результатом є побудова схеми в програмному середовищі LabView реалізації ідей зазначених вище (Рис.2.). На шляху реалізації виникли проблеми узгодження всіх трактів пристрою,

а також реалізації схеми сигналізації. А саме знаходження певного значення для перевірки умови перевищення порогу в блоці компарації. Це питання повинно комплексно досліджуватися в подальшому для напрацювання бази даних частотних та шумових характеристик БПЛА для вірної роботи програмного продукту.

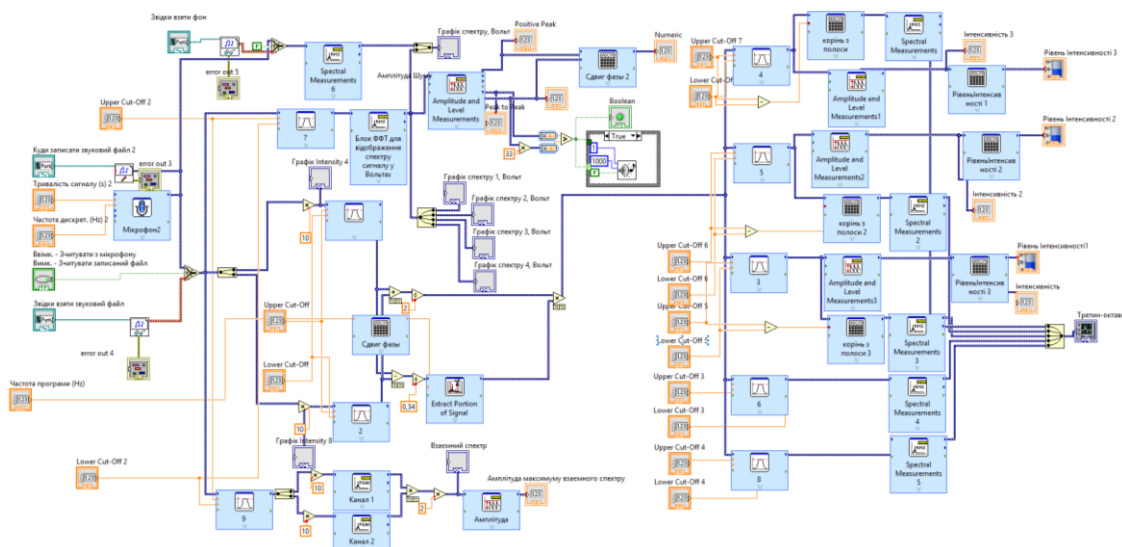


Рис. 2 Функціональна схема пристрою виявлення безпілотних літальних апаратів в програмному середовищі LabVIEW

Висновки

В результаті виконання роботи отримано наступні результати:

1. Програмна реалізація виявлення повітряних об'єктів.
2. Розроблена багатофункціональна акустична антена.

Література

31. Jim Romeo. UAV Design Challenges [Electronic resource] / Jim Romeo// Digital Engineering. - 2016. - № 2091. URL: <http://www.digitaleng.news/de/uav-design-challenges-game-on/>
32. Самохин В. Ф. Экспериментальное исследование источников шумности беспилотного летательного аппарата с винто-кольцевым движителем в толкающей компоновке / В. Ф. Самохин, С. П. Остроухов, П. А. Мошков // Элект. журн. «Труды МАИ». - 2013. - №70.
33. Саложков М. А. Электроакустика. Учебник для вузов. М., Связь, 1978. — 272 с. С ил.

Рекомендовано до публікації: д.т.н., проф. Коржик О. В.

НТУУ «КПІ», Факультет електроніки, кафедра ААЕ, Київ, Україна

УДК 621.3

ПРИСТРІЙ ПЕЛЕНГУВАННЯ БПЛА У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

П.М. Ларін, А.В. Козак, Р.Ю. Костюк

НТУУ «КПІ», Факультет електроніки, Київ, Україна, e-mail: IPhilip04@gmail.com; andreka1996@gmail.com; r.ju.kostjuk@gmail.com

На сьогоднішній день пристрої акустичного пеленгування повітряних рухомих об'єктів утворюють новий напрямок використання окремих засобів протиповітряної оборони та представляють собою новий клас акустичних шумопеленгаційних систем. Практична реалізація вказаних систем має базуватися на сучасному програмному забезпеченні, що може використовувати принципи об'єктного програмування. В запропонованій роботі за допомогою інструментального лабораторного пакету LabVIEW отримано програмну модель системи пеленгування БПЛА за акустичним полем.

Nowadays, devices for acoustic localization of airborne objects form a new direction for the use of individual air defense assets and represent a new class of acoustic noise isolation systems. The practical implementation of these systems should be based on modern software that can use the principles of object programming. In the proposed work, with the help of LabVIEW package, was obtained a software model of the UAV localization system for the acoustic field.

Ключові слова: *пеленг, локалізація, характеристика направленості.*

Key words: *localization, bearing, directional characteristic.*

Вступ

На сьогодні проблема повітряного та підводного шумопеленгування широкодіапазонних шумовипромінюючих об'єктів викликає підвищену цікавість у зв'язку з розвитком парку безпілотних повітряних та підводних дистанційно керованих апаратів. [1] Проте, відомості про акустичні характеристики таких пристроїв достатньо незначні. Зауважимо, що дані про спектральні характеристики шумовипромінювання повітряних об'єктів достатньо детально викладено в роботі. [2]

Таким чином, базуючись на залучених з роботи [2] спектральних характеристик БПЛА, одним з перспективних напрямків виявлення БПЛА є визначення взаємного спектру та визначення кута нахилу результуючого вектору, різниці фаз прийнятого сигналу чотирьох мікрофонів відносно центрального, при появі вказаної цілі.

В зв'язку з цим, задача створення віртуальних інструментів для вимірювання основних характеристик акустичного поля та виявлення автономних рухомих об'єктів є актуальною і має розглядатися як крок до уніфікації та наочності шляхів апаратно-програмної реалізації засобів підводного та повітряного шумопеленгування. Це, власне, і визначає мету роботи.

Основні програмно-технічні принципи створення системи пеленгування повітряних об'єктів за акустичним полем

Пристрій являє собою антенну решітку (Рис. 1.), яка забезпечує формування характеристик направленості «sin-cos» та «1».

$$R_{1,3}(t) = \frac{\cos(\varphi)}{\max(\cos(\varphi))}; \quad R_{2,4}(t) = \frac{\sin(\varphi)}{\max(\sin(\varphi))} \quad (1)$$

Сумісне використання двох ХН виду R1-2 R3-4 і R5 дозволяє визначити номер квадранта та кут результуючого вектору суми напруг каналів «sin-cos», що і визначає напрямок надходження корисного сигналу (Рис. 2.). Пеленгування відбувається за рахунок визначення довжин ортогональних векторів електричних напруг в каналах R1-2 R3-4, визначення їх суми та кута нахилу результуючого вектору (Рис. 3,4).

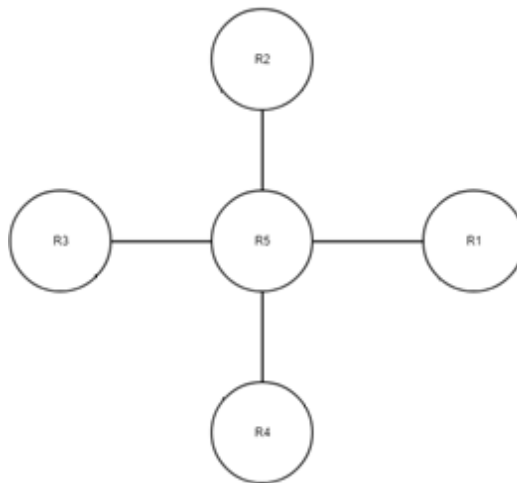


Рис. 1 Схема розміщення мікрофонів у просторі.

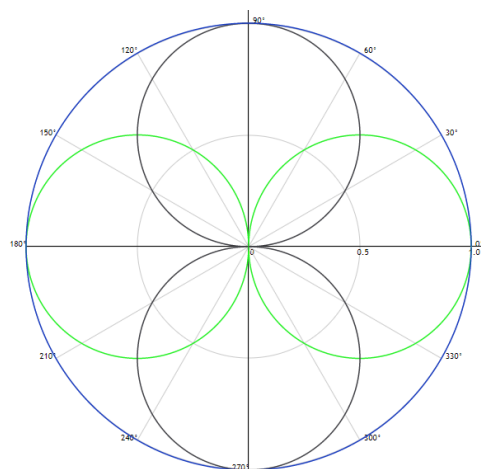


Рис. 2 ХН антени.

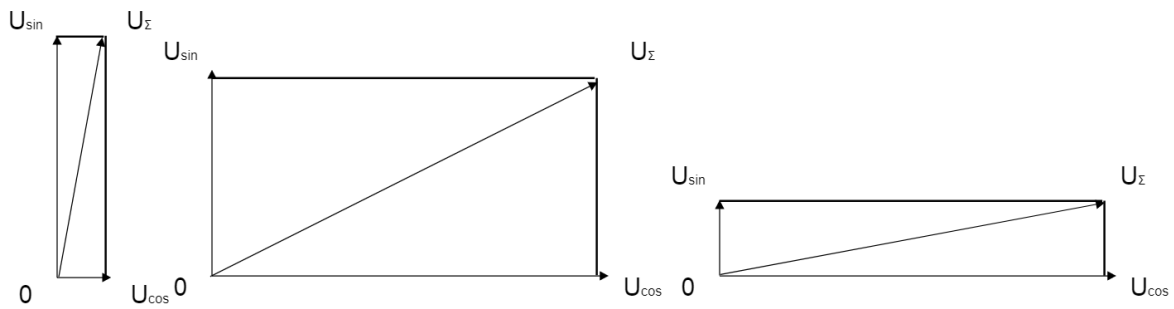


Рис. 3 Вектори напруг: сумарної, з каналу «sin» та каналу «cos»

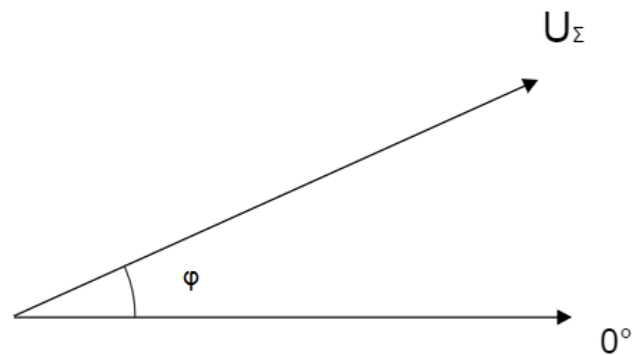


Рис. 4 Векторне визначення пеленгу

$$\varphi = \arctg\left(\frac{U_{\sin}}{U_{\cos}}\right) \quad (2)$$

Під каналом, розуміємо пари мікрофонів, що, в даному випадку, підключені зустрічно. При визначенні пеленгу, перш за все, необхідно знати в якому квадранті отримано сигнал. А саме, по ХН, в квадранті 0° - 90° тобто першому, другому 90° - 180° , третьому 180° - 270° , чи четвертому 270° - 360° (Рис. 5.).

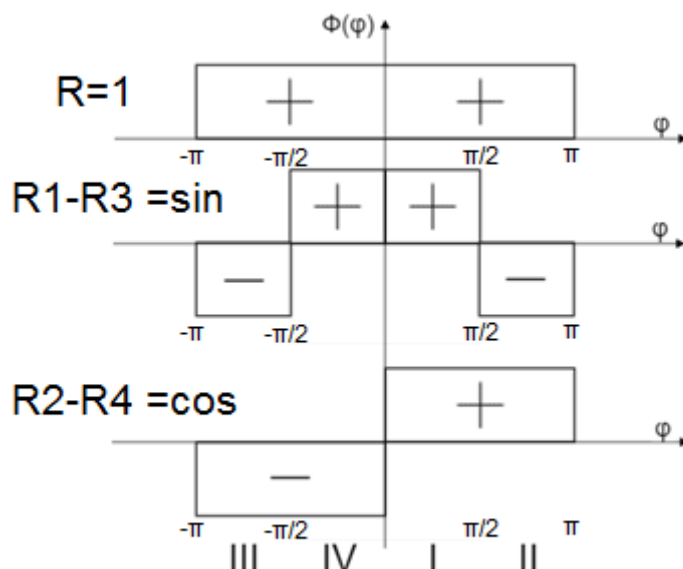


Рис. 5 Визначення квадранту за фазою прийнятого сигналу відносно R5.

Визначаючи напругу в каналах, формуємо з них ортогональні вектори та визначаємо кут між сумарним вектором та вектором напруги в горизонтальному каналі \cos . В залежності від квадранту, додаємо до знайденого кута ϕ фазові коефіцієнти $\pi/2$, $-\pi$ або $-\pi/2$, і в результаті отримуємо пеленг. [3]

Висновки

В результаті виконання роботи отримано основні принципи роботи пеленгатора повітряних об'єктів, для подальшого дослідження та моделювання.

Література

1. Jim Romeo. UAV Design Challenges [Electronic resource] / Jim Romeo// Digital Engineering. - 2016. - № 2091. URL: <http://www.digitaleng.news/de/uav-design-challenges-game-on/>
2. Самохин В. Ф. Экспериментальное исследование источников шумности беспилотного летательного аппарата с винто-кольцевым двигателем в толкающей компоновке / В. Ф. Самохин, С. П. Остроухов, П. А. Мошков // Элект. журн. «Труды МАИ». - 2013. - №70.
3. Сапожков М. А. Электроакустика. Учебник для вузов. М., Связь, 1978. — 272 с. С ил.

Рекомендовано до публікації: д.т.н., проф. Коржик О. В.

НТУУ «КПІ», Факультет електроніки, кафедра ААЕ, Київ, Україна

МУЛЬТИКОМПОНЕНТНА ВЕКТОРНА АКУСТИЧНА АНТЕНА ПРИСТРОЇВ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПЕЛЕНГУВАННЯ

Запропонована корисна модель відноситься до області повітряної акустики, зокрема до засобів виявлення і пеленгування малих літальних апаратів за їх власним акустичним випромінюванням та призначена для визначення присутності цілі і вимірювання її кутових координат.

Відома позиційна шумопеленгаторна станція, що має у складі гідроакустичний модуль, який містить комбінований акустичний приймач у вигляді поєднання приймача тиску p та приймачів складової v_x і складової v_y коливальної швидкості. Недоліком є те, що за відсутності приймача складової v_z коливальної швидкості виявляється неможливим точне вимірювання інтенсивності акустичного поля, створеного ціллю, що призводить до значної похибки її виявлення [1].

Найбільш близьким до заявленої корисної моделі є трьохкоординатний крос-дипольний акустичний масив, що містить три лінійні дискретні акустичні антени, які складаються з приймачів тиску, розміщені взаємно ортогонально, мають однакові розміри баз і спільний фазовий центр, у якому встановлено приймач тиску [2].

До недоліків прототипу відноситься обмеження у використанні лише одного способу пеленгування, що знижує функціональність пристрою та потребує введення у склад акустичних комплексів, де він використовується, додаткового пристрою для визначення присутності цілі.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення мультикомпонентної векторної акустичної антени пристроїв виявлення та пеленгування шляхом зміни кількості приймачів тиску, що збільшить кількість способів виявлення і пеленгування, які можуть бути реалізовані за

допомогою пристрою, та за рахунок цього забезпечить покращення його функціональних характеристик у складі акустичних комплексів і підвищить точність виявлення та пеленгування цілей.

Поставлена задача вирішується тим, що у мультикомпонентній векторній акустичній антені пристроїв виявлення та пеленгування, що містить три лінійні дискретні акустичні антени, які складаються з приймачів тиску, розміщені взаємно ортогонально, мають однакові розміри баз і спільний фазовий центр, у якому встановлено приймач тиску, згідно із запропонованою корисною моделлю новим є те, що у одну з лінійних дискретних акустичних антен зі збільшеною базою додатково встановлено ще два приймачі тиску симетрично відносно фазового центру.

Сутність корисної моделі пояснюється кресленнями, де:

на фіг. 1 схематично зображено розміщення приймачів тиску в мультикомпонентній векторній акустичній антені пристроїв виявлення та пеленгування;

на фіг. 2 зображено структурну схему мультикомпонентної векторної акустичної антени пристроїв виявлення та пеленгування.

Мультикомпонентна векторна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгування складається з приймачів тиску 0, x_1 – x_2 , y_1 – y_4 , z_1 – z_2 (фіг. 1), тракту формування характеристик спрямованості (ТФХС) 1 у складі суматора 2, віднімача 3 дипольного каналу X , віднімача 4 дипольного каналу Y , віднімача 5 дипольного каналу Z , блоку прослуховування (БП) 6 у складі тракту прослуховування ненаправленого (ТПНН) 7, тракту прослуховування направленого (ТПН) 8, блоку виявлення (БВ) 9 у складі тракту виявлення за спектром (ТВС) 10, тракту виявлення за інтенсивністю (ТВІ) 11, тракту виявлення за взаємним спектром (ТВВС) 12 та блоку пеленгування (БП) 13 у складі тракту кореляційного пеленгування (ТКП) 14, тракту фазового

пеленгування (ТФП) 15, тракту пеленгування способом рівносигнальних зон (ТПРЗ) 16 (фіг. 2).

Пристрій працює наступним чином.

При надходженні акустичної хвилі, що створена ціллю, до мультикомпонентної векторної акустичної антени пристроїв виявлення та пеленгування приймачами тиску 0, x_1 – x_2 , y_1 – y_4 , z_1 – z_2 реєструються певні величини тиску. Електричний сигнал, що генерується приймачем тиску 0, використовується у ТПНН 7 для ненаправленого прослуховування місцевості оператором, а електричний сигнал, сформований суматором 2, використовується у ТПН 8 для направленого прослуховування місцевості оператором.

Одночасно електричний сигнал із суматора 2 надходить до ТВС 10, у якому реалізується спектральна обробка просторово відфільтрованого акустичного поля цілі та за допомогою порогового пристрою визначається наявність або відсутність цілі. Після надходження акустичних хвиль до пар приймачів тиску x_1 – x_2 , y_1 – y_2 , z_1 – z_2 , сформовані віднімачами 3–5 електричні сигнали з каналів дипольного прийому X , Y , Z та електричний сигнал з приймача тиску 0 надходять до ТВІ 11, у якому здійснюється обчислення інтенсивності акустичного поля у різних частотних діапазонах та визначається за допомогою порогового пристрою наявність чи відсутність цілі. Одночасно електричні сигнали з приймачів тиску u_3 – u_4 надходять до ТВВС 12, де проводиться обчислення взаємного спектру та по обраному критерію виявлення визначається наявність чи відсутність цілі. При цьому результати вимірювань усіх трьох трактів аналізуються оператором, який приймає остаточне рішення.

Згенеровані приймачами тиску y_1 – y_2 електричні сигнали надходять до ТКП 14, у якому здійснюється їх кореляційна обробка та обчислюється пеленг на ціль. Одночасно електричні сигнали з приймачів тиску y_1 – y_2 надходять до

ТФП 15, у якому реалізовано фазовий спосіб пеленгування, що має недолік, викликаний неоднозначністю визначення квадранту знаходження цілі при певних хвильових співвідношеннях між спектральними складовими акустичного поля цілі та розміром бази лінійної дискретної акустичної антени, що реалізована приймачами тиску y_1 – y_2 . Цей недолік усувається у ТПРЗ 16, на який надходять електричні сигнали з приймача тиску 0 та з каналів дипольного прийому X , Y . У ТПРЗ 16 реалізовано спосіб рівносигнальних зон, за допомогою якого визначається квадрант знаходження цілі, а також кут пеленгу. Результати вимірювань пеленгу на ціль цими способами аналізуються оператором, який приймає остаточне рішення.

Таким чином, пропонована мультикомпонентна векторна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгування реалізує повний комплекс заходів щодо виявлення та визначення кутових координат цілі та може застосовуватись у шумопеленгаторних акустичних комплексах.

Джерела інформації:

1. Патент № 105308 UA, МПК H04B 10/00, G10K 11/00, G01H 17/00, опубл. 10.03.2016. «Позиційна шумопеленгаторна станція».
2. A robust phase gradient bearing estimation algorithm for a tri-axis cross-dipole acoustic array, with application to a long range autonomous underwater vehicle homing and tracking system / C. Lucas, G. Heard, R. Flemming, N. Pelavas. // Acoustical Society of America. – №14. – 2013.

Заявник:

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Проректор з наукової роботи

М. Ю. Ільченко

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Мультикомпонентна векторна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгування, що містить три лінійні дискретні акустичні антени, які складаються з приймачів тиску, розміщені взаємно ортогонально, мають однакові розміри баз і спільний фазовий центр, у якому встановлено приймач тиску, **яка відрізняється тим, що** у одну з лінійних дискретних акустичних антен зі збільшеною базою додатково встановлено ще два приймачі тиску симетрично відносно фазового центру.

Заявник:

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Проректор з наукової роботи

М. Ю. Ільченко

РЕФЕРАТ

Мультикомпонентна векторна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгування.

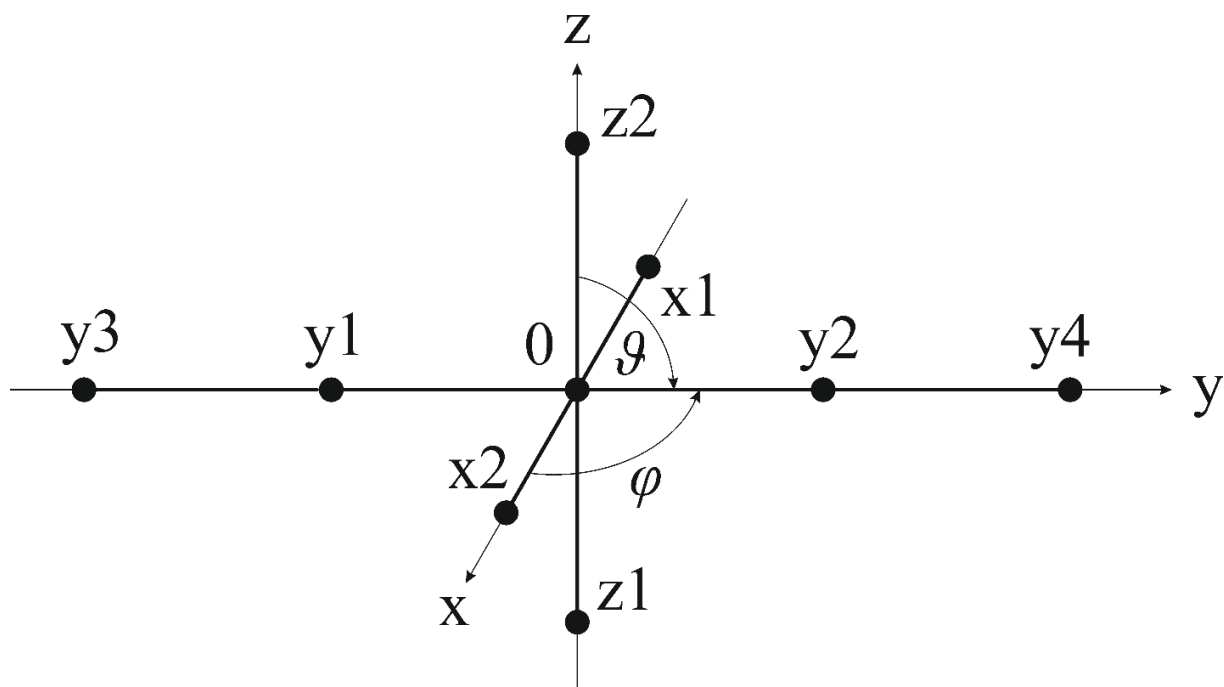
Корисна модель відноситься до області повітряної акустики, зокрема до засобів виявлення і пеленгування малих літальних апаратів за їх власним акустичним випромінюванням та призначена для визначення присутності цілі і вимірювання її кутових координат.

Мультикомпонентна векторна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгування містить три лінійні дискретні акустичні антени, які складаються з приймачів тиску, розміщені взаємно ортогонально, мають однакові розміри баз і спільний фазовий центр, у якому встановлено приймач тиску.

Новим є те, що у одну з лінійних дискретних акустичних антен зі збільшеною базою додатково встановлено ще два приймачі тиску симетрично відносно фазового центру.

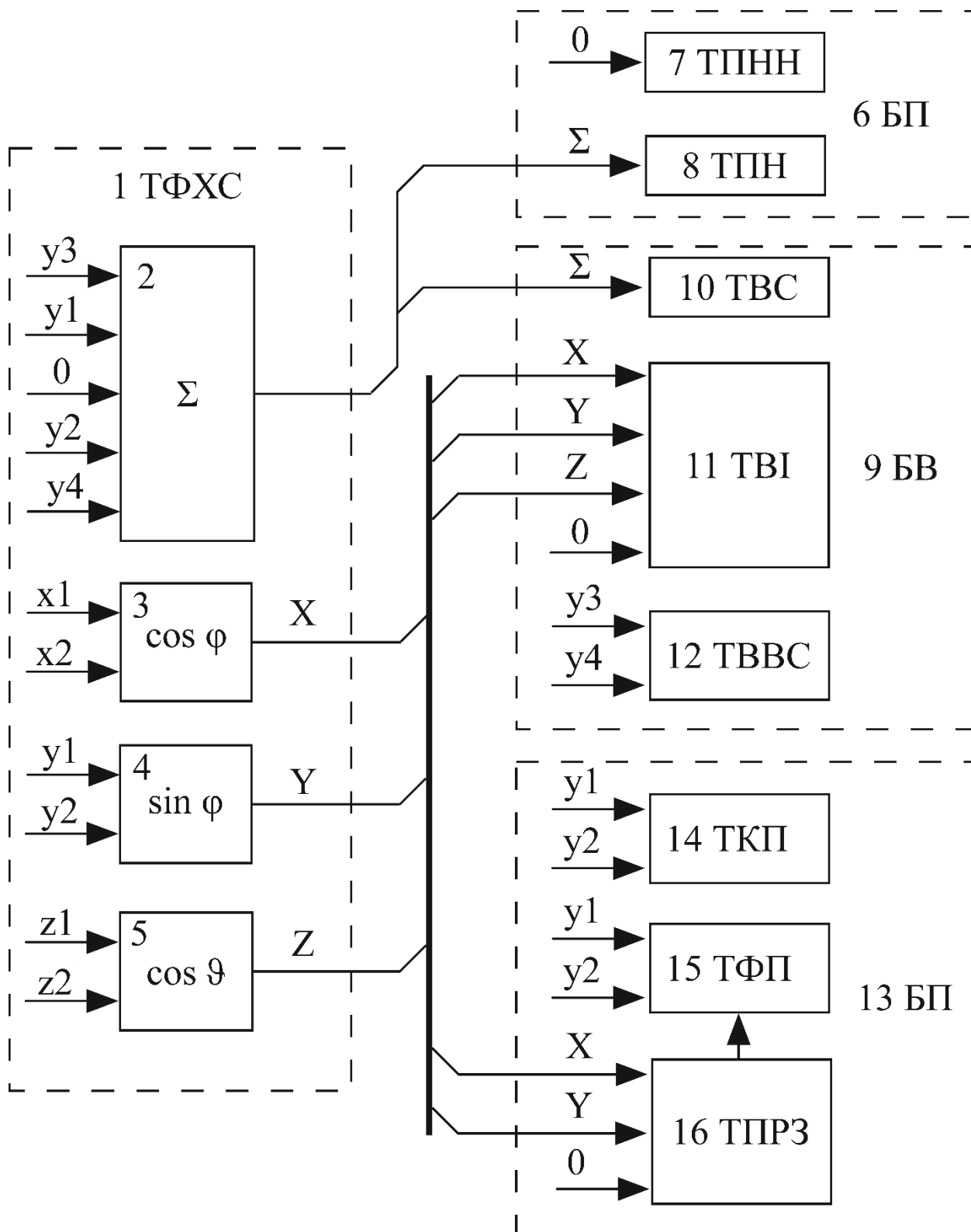
Додатково встановлені приймачі тиску збільшують кількість способів виявлення та пеленгування, які можуть бути реалізовані за допомогою пристрою, що забезпечує покращення його функціональних характеристик у складі шумопеленгаторних акустичних комплексів і підвищує точність виявлення та пеленгування цілей.

**МУЛЬТИКОМПОНЕНТНА ВЕКТОРНА АКУСТИЧНА АНТЕНА
ПРИСТРОЇВ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПЕЛЕНГУВАННЯ**



Фіг. 1

МУЛЬТИКОМПОНЕНТНА ВЕКТОРНА АКУСТИЧНА АНТЕНА ПРИСТРОЇВ ВИЯВЛЕННЯ ТА ЦЕЛЕНГУВАННЯ



Фіг. 2

д.т.н. Дідковський В.С. (ФЕЛ КПІ ім. Ігоря Сікорського)

д.т.н. Коржик О.В. (ФЕЛ КПІ ім. Ігоря Сікорського)

Горовий К.В. (ФЕЛ КПІ ім. Ігоря Сікорського)

Козак А.В. (ФЕЛ КПІ ім. Ігоря Сікорського)

Ларін П.М. (ФЕЛ КПІ ім. Ігоря Сікорського)

Ляхевич С.В. (ЕРАМ)

ПРИСТРІЙ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПЕЛЕНГУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ

На сьогодні проблема повітряного шумопеленгування широкосмугових шумовипромінюючих об'єктів викликає підвищену цікавість у зв'язку з розвитком парку безпілотних повітряних дистанційно керованих апаратів, що визначає актуальність обраного напрямку роботи. Проте, відомості про акустичні характеристики таких пристроїв достатньо незначні.

Одним з перспективних, на наш погляд, напрямків створення систем виявлення БПЛА є визначення взаємного спектру та вимірювання інтенсивності звукового поля в робочому середовищі, при появі вказаного об'єкту.

В дослідницькому плані, задача повітряного пеленгування може бути розв'язано шляхом створення віртуальних інструментів для виявлення рухомого повітряного об'єкту за основними характеристиками акустичного поля та визначення напрямку на нього. Таким чином, мета роботи полягає в створенні акустичного мобільного пристрою виявлення та пеленгування об'єктів вказаного типу із залученням середовищ об'єктного програмування.

В роботі алгоритм виявлення реалізовано з використанням комбінованої лінійної дискретної акустичної антени яка забезпечує p і pv прийом акустичних сигналів, пристрою спряження (система АЦП) та програм обробки інформації на основі пакету LabView на персональному комп'ютері (ПК). Антена забезпечує огляд заданого просторового робочого сектора шляхом механічного сканування.

ПК містить програмне забезпечення, створене в середовищі LabView, що реалізує обробку даних та відображення інформації. Ідеологія застосування об'єктного програмування базується на використанні трьох типів систем виявлення:

- вузькосмугового спектру (FFT);
- інтенсивності;
- взаємного спектру.

Використання таких дублюючих систем мають на меті підвищення надійності виявлення та врахування трьох основних проявів збудження акустичного поля.

За результатами розробки створено вимірювальний стенд, програмне забезпечення та проведено натурні випробування системи щодо процедур виявлення та пеленгування літального апарату. В якості об'єкта досліджень було використано безпілотний літальний апарат квадрокоптерного типу DJI Phantom 3, в різних режимах польоту (земля-повітря). Отримано спектральні характеристики акустичного поля при використанні широкосмугової та вузькосмугової фільтрації. Встановлено закономірності визначення курсових кутів з використанням методу рівносигнальних зон. Результати узагальнені та можуть бути використані при формуванні умов технічного завдання на розробку зазначеної систем.